

**ПРАВИТЕЛЬСТВО МОСКВЫ
ДЕПАРТАМЕНТ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ ГОРОДА МОСКВЫ**

СОГЛАСОВАНО

Главный внештатный специалист
Департамента здравоохранения
города Москвы по медицинской
реабилитации и санаторно-курортному
лечению
Погонченкова И.В.



« 12 » ФЕВРЯ 2025 г.

РЕКОМЕНДОВАНО

Экспертным советом по науке
Департамента здравоохранения
города Москвы № 1



« 15 » ФЕВРЯ 2025 г.

**Методы инструментальной оценки походки у пациентов после
эндопротезирования коленного и тазобедренного суставов**

Методические рекомендации № 1

Москва 2025

УДК 61 (616.728.2–616.728.3)

ББК 54.58

М54

Организация–разработчик: Государственное автономное учреждение здравоохранения города Москвы «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины имени С.И. Спасокукоцкого Департамента здравоохранения города Москвы»

Авторы: Макарова М.Р. – к. м. н., доцент, ведущий научный сотрудник ГАУЗ МНПЦ МРВСМ им. С.И. Спасокукоцкого ДЗМ

Погонченкова И.В. – д. м. н., доцент, директор ГАУЗ МНПЦ МРВСМ им. С.И. Спасокукоцкого ДЗМ

Сомов Д.А. – к. м. н., старший научный сотрудник ГАУЗ МНПЦ МРВСМ им. С.И. Спасокукоцкого ДЗМ

Майоров Е.А. – младший научный сотрудник ГАУЗ МНПЦ МРВСМ им. С.И. Спасокукоцкого ДЗМ

Петрова Л.В. – к. м. н., заведующая отделом медицинской реабилитации ГАУЗ МНПЦ МРВСМ им. С.И. Спасокукоцкого ДЗМ

Турова Е.А. – д. м. н., профессор, главный научный сотрудник ГАУЗ МНПЦ МРВСМ им. С.И. Спасокукоцкого ДЗМ

Рассулова М.А. – д. м. н., профессор, первый заместитель директора, главный научный сотрудник ГАУЗ МНПЦ МРВСМ им. С.И. Спасокукоцкого ДЗМ

Филиппов М.С. – заведующий филиалом №3 ГАУЗ МНПЦ МРВСМ им. С.И. Спасокукоцкого ДЗМ

Рецензенты:

Ерёмушкин М.А. – д. м. н., профессор, руководитель Образовательного центра ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр медицинской реабилитации и курортологии ФМБА»

Сичинава Н.В. – д. м. н., заместитель заведующего филиалом №1 ГАУЗ МНПЦ МРВСМ им. С.И. Спасокукоцкого ДЗМ

Методы инструментальной оценки походки у пациентов после эндопротезирования коленного и тазобедренного суставов / Методические рекомендации. – М.Р. Макарова, И.В. Погонченкова, Д.А. Сомов, Е.А. Майоров, Л.В. Петрова, Е.А. Турова, М.А. Рассулова, М.С. Филиппов. – Москва. – М.: ГАУЗ «МНПЦ МРВСМ им. С.И. Спасокукоцкого ДЗМ», 2025. – 44 с.

Предназначение: Методические рекомендации адресованы врачам по лечебной физкультуре и спортивной медицине, врачам физической реабилитационной медицины, травматологам-ортопедам, другим специалистам медицинских организаций, подведомственных Департаменту здравоохранения города Москвы.

Методические рекомендации выполнены в соответствии с Государственным заданием на 2023–2025 гг. «Научное обеспечение столичного здравоохранения» (регистрационный номер № 123041200084–9), заказчик Департамент здравоохранения города Москвы

Данный документ является собственностью Департамента здравоохранения города Москвы и не подлежит тиражированию и распространению без соответствующего разрешения.

ISBN

© Департамент здравоохранения города Москвы, 2025

© ГАУЗ «МНПЦ МРВСМ им. С.И. Спасокукоцкого ДЗМ», 2025

© Коллектив авторов, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Сокращения	4
Определения	5
Введение	6
1. Основная часть	7
1.1 Основные биомеханические параметры походки	7
1.2 Биомеханика ходьбы при дегенеративных заболеваниях суставов нижних конечностей	11
1.3 Биомеханика ходьбы после эндопротезирования коленного и тазобедренного суставов	14
1.4 Методы исследования уровня боли, мышечной силы, локомоторной функции и активности в повседневной жизни у пациентов с дегенеративными заболеваниями коленного и тазобедренного суставов	17
1.4.1 Визуальная аналоговая шкала боли (ВАШ)	17
1.4.2 Шкала комитета медицинских исследователей (MRC)	18
1.4.3 Тест на определение силы мышц бедра и голени	18
1.4.4 Тест на прохождение расстояния 20 метров	19
1.4.5 Шкала оценки динамики активности в повседневной жизни Лекена	19
1.4.6 Шкала оценки коленного сустава (OKS)	20
1.5 Показания и противопоказания к проведению исследования биомеханики ходьбы	20
1.6 Критерии отбора при проведении исследования биомеханики ходьбы. Модель пациента	21
1.7 Методика проведения анализа походки	23
1.8 Стоп-сигналы	25
1.9 Анализ биомеханики походки	26
2. Оценка результатов собственных исследований биомеханики ходьбы	28
Заключение	34
Список использованных источников	36
Приложения	40

СОКРАЩЕНИЯ

ВАШ	–	визуальная аналоговая шкала
ДО	–	период двойной опоры
ДШ	–	длина шага
КС	–	коленный сустав
МКФ	–	Международная классификация функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья
МР	–	медицинская реабилитация
ОДА	–	опорно-двигательный аппарат
ОДС	–	опорно-двигательная система
ОО	–	одиночная опора
ОЦМ	–	общий центр масс
ПО	–	период опоры
ПП	–	период переноса
СШ	–	скорость шага
ТБС	–	тазобедренный сустав
ТЭКС	–	тотальное эндопротезирование коленного сустава
ТЭТС	–	тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава
ЦШ	–	цикл шага
ЧШ	–	частота шага
ЭП	–	эндопротезирование
MRC	–	Medical Research Council, шкала комитета медицинских исследований
OKS	–	Oxford knee score, Оксфордская шкала коленного сустава
SF-36	–	The Short Form-36, опросник для оценки качества жизни

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем документе применяют следующие термины с соответствующими определениями.

Артропластика – операция по замене сустава; является синонимом термина «эндопротезирование»; при детализации объема операции наиболее часто используется термин «эндопротезирование».

Биомеханика – наука, изучающая механические свойства живых тканей, органов и организма, а также происходящие в них механические явления.

ВВЕДЕНИЕ

Эндопротезирование (артропластика) суставов в настоящее время признано наиболее клинически эффективным и надежным методом лечения дегенеративно-дистрофических повреждений суставов нижних конечностей. Ежегодное количество операций по замене суставов неизменно увеличивается и не имеет тенденции к снижению. В США к 2030 г. ожидается рост количества артропластик тазобедренного сустава (ТБС) до 633 000 в год, коленного сустава (КС) – до 3,48 млн в год [19]. Последние данные в Российской Федерации по эндопротезированию были опубликованы в виде отчета НМИЦ ТО им Н. Н. Приорова, согласно которому в 2020 г. было выполнено 116 080 операций, из них 62 680 артропластик ТБС и 49 974 артропластик КС в соотношении 1,6:1,0 [25].

Традиционно при анализе локомоторной способности пациента после артропластики учитывается выраженность болевого синдрома, хромота и скорость ходьбы, подвижность суставов оперированной и неоперированной конечностей, сила мышц конечностей, продолжительность локомоторной активности в течение дня, степень бытовой независимости. Темп восстановления силы и баланса мышц оперированной конечности после эндопротезирования до значений, близких к физиологическим, значительно уступает скорости устранения болевого синдрома, что является одной из основных причин стойкого изменения паттерна ходьбы. Нарушение походки зависит от локального статуса, биомеханического статодинамического паттерна позвоночно-тазового комплекса и вертикальной стабильности, поэтому анализ динамики биомеханических и функциональных параметров является интегральным показателем, который применяется для оценки эффективности медицинской реабилитации (МР) [7].

Клиническую и инструментальную оценку локомоции пациента дополняют различные клинические и функциональные тесты, валидированные опросники и шкалы: визуальная аналоговая шкала (ВАШ), тест на прохождение расстояния 10 или 20 метров, шкалы Харриса и Лекена, Оксфордская шкала для колена (Oxford knee score, OKS), опросники оценки качества жизни SF-36, PQ-5D и другие [24]. В последние 10–15 лет наблюдается переход от преимущественно клинического подхода к инструментальному количественному анализу в оценке восстановления походки после операций на суставах [44]. Включение биомеханических методов исследования обусловлено необходимостью внедрения принципов доказательной медицины в МР и современного подхода к принятию клинических решений, что позволяет выбирать актуальные методы реабилитации, удовлетворяющие требованиям как пациентов, так и специалистов [3].

Современные аппаратно-программные комплексы обеспечивают регистрацию пространственно-временных и кинематических параметров походки здорового человека и

у пациентов с двигательными нарушениями. Использование биомеханического анализа походки в клинических целях позволяет определить наиболее значимые изменения паттерна ходьбы, оценить функциональный статус, формировать, корректировать и контролировать эффективность проведения индивидуального плана МР, а также прогнозировать восстановление пациента с нарушением двигательной функции [37].

Интерес к способам диагностики биомеханики ходьбы обусловлен необходимостью более точной и объективной оценки нарушений функции ходьбы, что важно для корректировки паттернов походки в процессе реабилитации. Эндопротезирование КС и ТБС обуславливает формирование новых биомеханических условий для ходьбы. Это делает актуальным подбор специализированных двигательных методик, которые учитывают функциональные нарушения у пациентов после таких операций и помогают восстановить навыки передвижения.

1. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1.1. Основные биомеханические параметры походки

Биомеханический анализ ходьбы человека – метод количественного и качественного определения функционального состояния опорно-двигательного аппарата, который позволяет анализировать характерную для шагательных движений попеременную активность ног в виде чередования отталкивания и переноса каждой ноги [22, 23]. Высокая чувствительность современных систем биомеханики позволяет использовать параметры походки в качестве диагностического инструмента для выявления и оценки степени выраженности нарушений опорно-двигательной системы (ОДС) [5, 28, 29]. Здесь и далее все термины и определения биомеханики ходьбы, а также иллюстрации приведены из монографии Д.В. Скворцова (1996) [22].

Физиологический локомоторный цикл – закономерно и ритмично сменяющиеся периоды опоры конечности на поверхность и ее переноса над поверхностью. При осуществлении шагательных движений каждая нижняя конечность поочередно сменяет состояние опоры и переноса.

Походка – изменение ходьбы человека под влиянием воздействия факторов внешней и внутренней среды, придающих ходьбе индивидуальный стиль. Походка человека носит циклический характер, поэтому при анализе одного или нескольких циклов возможно получить информацию, характеризующую локомоцию в целом [4].

Пространственные параметры ходьбы отражают способ регистрации ходьбы в пространстве. К ним относятся длина шага, скорость шага, частота шага.

Длина шага (ДШ) – это расстояние между одноименными точками правой и левой стопы, измеренное в сагиттальной плоскости. Выражается в метрах. Шаг называется правым, если правая нога находится перед левой, и левым при нахождении левой ноги перед правой.

Скорость шага (СШ) – расстояние, пройденное за единицу времени. Наиболее общая пространственно-временная характеристика походки. Выражается в метрах в секунду.

Частота шага (ЧШ) – число шагов одной ногой в единицу времени (в минуту).
Формула вычисления: $ЧШ = 60 \text{ секунд} / 0,5 \text{ ЦШ (в секундах)}$.

Временные параметры ходьбы отражают регистрацию периодов ходьбы за определенное время. К временным параметрам ходьбы относятся: цикл шага, время двойного шага (период от контакта пятки с опорой до следующего контакта пяткой этой же ноги), время опоры и переноса каждой ноги, время опоры на обе ноги и одну ногу.

Цикл шага (ЦШ) – основной элемент ходьбы, представляет собой период от контакта пятки с опорой до следующего контакта с опорой пяткой этой же ноги. За первый, начальный контакт принято рассматривать контакт с опорой пятки правой ноги. Как правило, правая нога, называется «лидирующей ногой», или ипсилатеральной, а левая нога – контралатеральной. У пациентов после эндопротезирования для удобства работы оперированную ногу принято считать «лидирующей», ипсилатеральной, а неоперированную ногу – контралатеральной. Время ЦШ принято измерять в секундах, а другие временные параметры, как правило, измеряются в процентах от всего времени ЦШ. Это дает возможность корректно сравнивать фазы цикла шага независимо от абсолютных значений.

Цикл шага для одной конечности состоит из двух основных периодов: *периода опоры (ПО)* и *периода переноса (ПП)* (рисунок 1).

Период двойной опоры (ДО) – это период ЦШ, в течение которого обе ноги находятся в контакте с опорой. Период ДО наблюдается дважды, в начале цикла шага, первый период двойной опоры (ПДО), и в конце, второй период двойной опоры (ВДО). Период опоры (ПО) состоит из двух периодов двойной опоры и одного периода опоры на одну конечность (рисунок 1). Выражается в процентах.

Период одиночной опоры (ОО) – это период, в течение которого одна нога находится на опоре. Период ОО равен периоду переноса позадистоящей (контралатеральной) конечности до постановки на опору. Период переноса ипсилатеральной ноги соответствует периоду одиночной опоры контралатеральной ноги. Выражается в процентах.

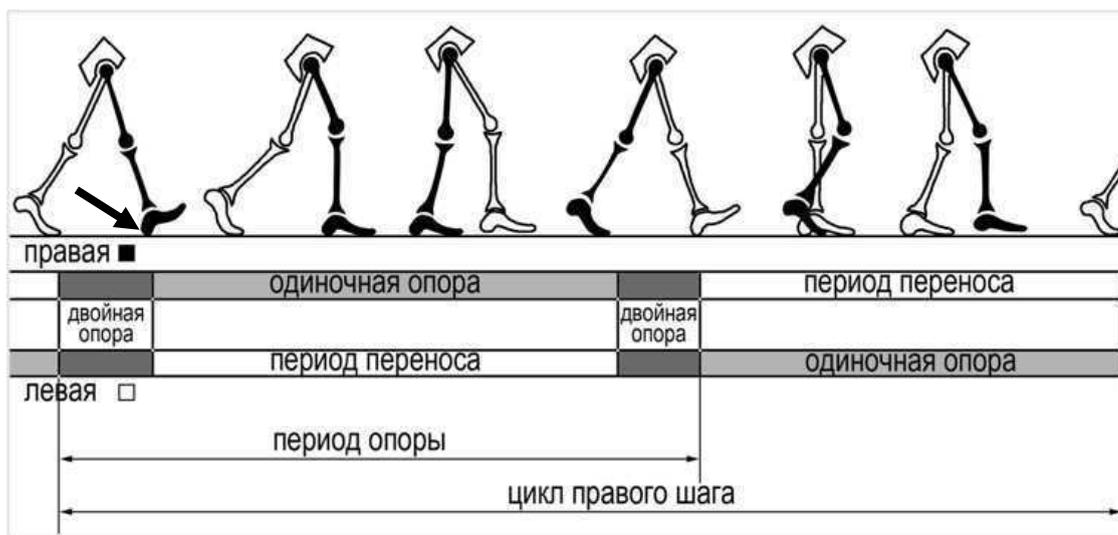


Рисунок 1 – Физиологический локомоторный цикл

Примечание: Точкой отсчета шага принято считать контакт правой пятки с опорой. Двойная опора наблюдается дважды, в начале и в конце цикла шага. Суммарный период опоры состоит из двух периодов двойной опоры и периода одиночной опоры. Одиночная опора правой конечности в абсолютном (по времени) и относительном значении (в процентах) равна периоду переноса левой конечности. Правая нога закрашена черным цветом, левая – не окрашена.

Период опоры (ПО) – временной отрезок, состоящий из суммы двух периодов двойной опоры и одного периода одиночной опоры. Выражается в процентах.

Длительность цикла шага (с) складывается из периода одиночной опоры (40%), периода переноса (40%) и суммарного времени двойной опоры (20%).

Длительность фазы опоры и фазы переноса в нормальном. Физиологическом цикле походки составляют соответственно 60% и 40% [22].

Фазовые параметры шага – функциональные элементы периодов опоры и переноса цикла шага, представляют интерес для клинической интерпретации параметров походки, измеряются в процентах от цикла шага или секундах. Цикл шага включает 8 фаз.

Фазы периода опоры – период опоры содержит фазы контакта, нагружения, подъема.

Фаза контакта начинается с касания стопой опоры, начинается передача нагрузки на ногу.

Фаза нагружения на стопу продолжается до конца периода двойной опоры, стопа ставится на опору всей поверхностью и принимает на себя вес всего тела, заканчивается с началом периода опоры на одну ногу. Фазы контакта и нагружения составляют перекат через пятку.

Фаза подъема начинается с периода одиночной опоры, заканчивается с отрывом пятки от опоры (рисунок 2). Тело продвигается вперед за счет сгибания голеностопного сустава. Фазу подъема называют фазой переката через голеностопный сустав.

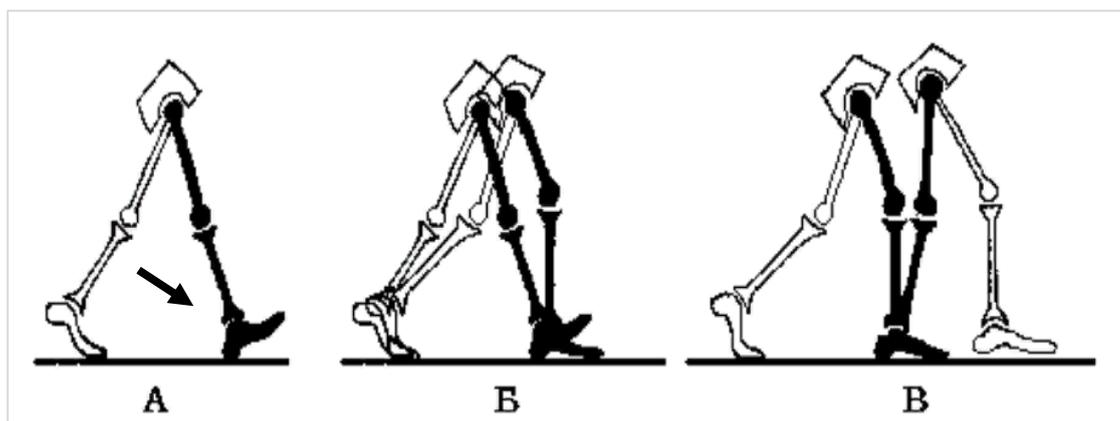


Рисунок 2 – Фазы опоры правой нижней конечности

Примечание: А – фаза контакта, Б – фаза нагружения, В – фаза подъема. Правая нижняя конечность закрашена черным цветом, левая – не окрашена.

Фаза падения начинается с отрывом пятки от опоры, а заканчивается – с началом постановки противоположной ноги на опору, т.е. с началом периода двойной опоры. В эту фазу проекция общего центра масс (ОЦМ) тела двигается от переднего отдела стопы к месту постановки противоположной стопы на опору. ОЦМ из своего наивысшего положения перемещается вниз. Функциональное значение – свободное падение на выдвигаемую вперед противоположную ногу.

Фаза передачи, во время которой наблюдается начало и конец двойной опоры (рисунок 3). Функциональное значение – перенос веса тела с одной ноги на другую.

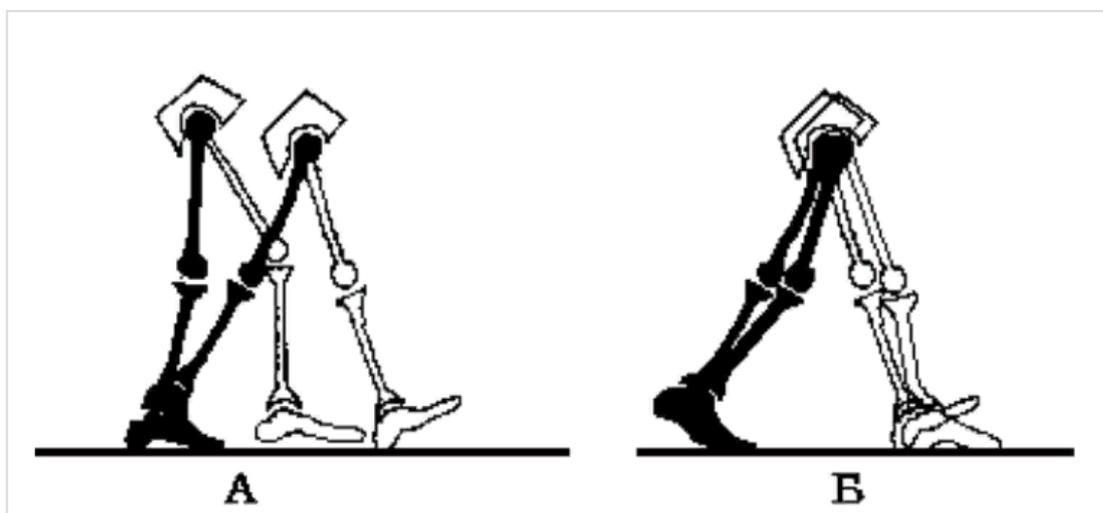


Рисунок 3 – Фазы опоры правой нижней конечности

Примечание: А – фаза падения. Б – фаза передачи.

Функциональное значение последовательности фаз падения и передачи – перекал через передний отдел стопы (перекал через носок). Фазы периода переноса содержат фазы ускорения, продвижения, торможения.

Фаза ускорения начинается отрывом конечности от опоры конечности. Функциональное значение фазы – активный набор скорости конечностью для продвижения

вперед (рисунок 4).

Фаза продвижения начинается с момента достижения выносимой ноги опорной и заканчивается выведением ноги вперед. Функциональное значение фазы – пассивное продвижение конечности вперед.

Фаза торможения начинается с достижения голенью вертикального положения, заканчивается завершением периода переноса и постановка конечности на опору. Функциональное значение фазы торможения – подготовка конечности к принятию веса тела на полной опоре.

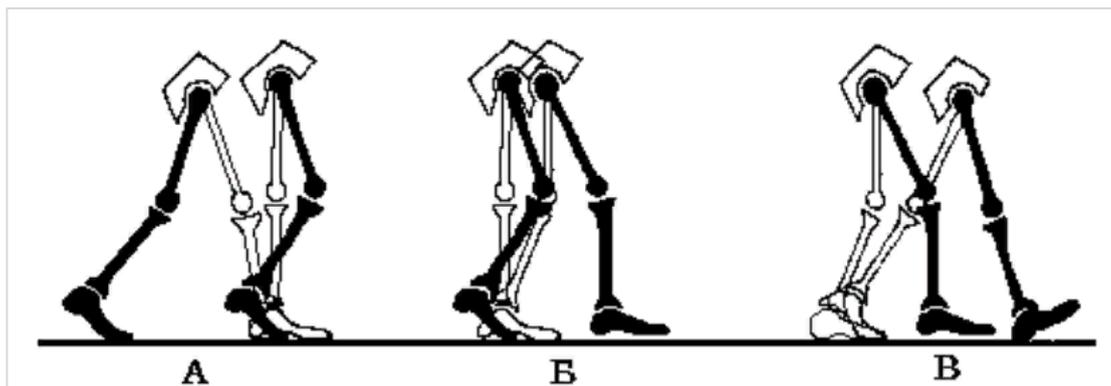


Рисунок 4 – Фазы периода переноса.

Примечание: А – фаза ускорения. Б – фаза продвижения. В – фаза торможения.

Кинематические параметры ходьбы характеризуют подвижность, траекторию и амплитуду движения суставов и сегментов тела, включая движения таза, голени и бедра, стопы и других, измеренных в трех плоскостях (сагиттальной, фронтальной и горизонтальной). К кинематическим параметрам относятся время и длина двойного шага, гониометрия, высота подъема стопы над опорной поверхностью [3, 8, 17, 22, 26].

1.2. Биомеханика ходьбы при дегенеративных заболеваниях суставов нижних конечностей

Ходьба – естественная двигательная активность человека, в регуляции и формировании которой участвуют все уровни нервной системы, опорно-двигательного аппарата (ОДА), сердечно-сосудистой и дыхательной систем. Индивидуальные особенности походки («паттерн») в большой степени зависят от возраста, настроения, личностных особенностей и коморбидных заболеваний [3]. Нарушения походки могут существенно снижать качество жизни и увеличивать зависимость больного от посторонней помощи [4, 15]. Походка является чувствительным индикатором общего состояния здоровья, а привычная скорость ходьбы пожилого человека тесно коррелирует с ожидаемой продолжительностью жизни [6]. Среди факторов, вызывающих расстройства походки, можно выделить неврологические (нарушения чувствительности или двигательные

нарушения), ортопедические (остеоартрит и деформация костей), а также связанные с другими заболеваниями (сердечная или дыхательная недостаточность, облитерирующие заболевания периферических артерий и ожирение). Для пациентов пожилого возраста типично многофакторное происхождение нарушений походки: изменение проприоцепции при полинейропатии, снижение зрения, лобные нарушения на фоне подкорковой сосудистой энцефалопатии, остеоартрит ТБС и/или КС. При остро возникших нарушениях походки необходимо исключать острое нарушение мозгового кровообращения, спинальные синдромы и нервно-мышечные расстройства, побочные эффекты лекарственных препаратов, психиатрические, кардиореспираторные, метаболические нарушения, инфекции [15].

Оценка нарушений походки включает клиническое наблюдение походки, проведение ортопедического и неврологического осмотров, анализ истории болезни, что позволяет планировать дополнительные диагностические процедуры [9, 13, 14].

Нарушение биомеханики при дегенеративных заболеваниях суставов нижних конечностей формируется постепенно и в начальных стадиях носит компенсаторный характер. Двигательные компенсаторные реакции направлены на поддержание вертикальной позы, сохранение опороспособности, снижение выраженности суставного синдрома, в первую очередь боли [16].

К общим признакам нарушения походки, характерным для суставного синдрома при дегенеративно-дистрофических заболеваниях суставов нижних конечностей, относятся: 1 – перенос опоры на здоровую или менее больную ногу; 2 – уменьшение длины шага, продолжительности опорной фазы; 3 – увеличение периода переноса; 4 – перекосяк таза и его наклон с углублением поясничного лордоза, наклон контралатеральной стороны; 5 – увеличение рабочей амплитуды движений в дистальных суставах больной конечности для компенсации имеющегося ограничения движений в ТБС [16, 17, 34, 41].

Анализ параметров биомеханики ходьбы у пациентов с коксартрозом указывает на прогрессивное снижение амплитуды и максимальных угловых скоростей движения в тазобедренном и ипсилатеральном КС по мере увеличения степени коксартроза и устойчивость компенсаторных реакций параартикулярных мышц на стороне повреждения. В здоровой конечности при этом наблюдается достоверное уменьшение «жесткости» ТБС в сравнении с подвижностью пораженного сустава и ТБС здоровых испытуемых. Под термином «жесткость» сустава подразумевают вязкоупругие свойства сустава, проявляющиеся в его сопротивлении деформации под действием внешних сил; измеряется в ньютонах на метр. Считается, что «жесткость» сустава в значительной мере обусловлена состоянием и взаимодействием параартикулярных мышц-антагонистов. Развитие данного

компенсаторного механизма связано с характером регулирования пассивной и активной коактивации параартикулярных мышц-антагонистов уже на ранних стадиях коксартроза [33, 44].

В начальных стадиях коксартроза компенсаторные реакции при ходьбе заключаются в вовлечении здоровой конечности, которая адаптируется к движениям пораженной конечности для сохранения симметрии походки. Срыв компенсации в более поздних стадиях заболевания приводит к выраженным нарушениям структуры походки и формированию дегенеративно-дистрофических изменений в контралатеральном ТБС и КС, поясничном отделе позвоночника [20, 45, 46].

У пациентов с коксартрозом I–III стадии изменения временных и пространственных параметров походки характеризуются рядом особенностей. У всех больных коксартрозом отмечается нарушение ритма походки, длины и симметрии шага, уменьшение переката через пятку обеих нижних конечностей. Нарушение опороспособности сопровождается возникновением значительного разброса биомеханических параметров от шага к шагу. Уменьшение периода опоры на больной стороне отмечается в 44% случаев, в 7% случаев наблюдается увеличение периода опоры, а в остальных 49% случаях продолжительность периода опоры находится в пределах нормы. Непостоянная величина осевой нагрузки приводит к недостаточной активности и нарушениям баланса и силы периартикулярных мышц на стороне поражения. В то же время уменьшение амплитуды сгибания и разгибания в пораженном ТБС компенсируются относительным увеличением подвижности ТБС контралатеральной стороны [3, 20].

Развитие одностороннего коксартроза, осложненного укорочением конечности, контрактурой ТБС и компенсаторным лордосколиозом, сопровождается нарушением ориентации таза в трех плоскостях. У здоровых испытуемых измерение ротации таза во фронтальной, сагиттальной и горизонтальной плоскостях при ходьбе в свободном темпе демонстрирует наличие симметричных, правильной формы волн, повторяющихся при каждом цикле шага. У больных коксартрозом траектория движения таза нарушается, и появляются асимметричные, нерегулярные волны неправильной формы [44].

Для пациентов с коксартрозом характерны изменения скорости ходьбы, частоты и цикла шага. В предоперационном периоде планового ТЭТС нарушения биомеханики ходьбы выражаются в снижении скорости ходьбы (СХ), асимметрии цикла шага (ЦШ), увеличении длительности ЦШ и всех его периодов, снижении амплитуды движений в ТБС и КС. У пациентов с гонартрозом значимыми являются изменения показателей опоры. Наиболее информативными для диагностики функционального статуса параметрами ходьбы принято считать СХ, опорные реакции, подвижность ТБС и КС, асимметрию

параметров походки [17].

В настоящее время доказана корреляция количественных характеристик фаз опоры и ходьбы с выраженностью боли по визуальной аналоговой шкале (ВАШ) боли, функциональным состоянием по системе Харриса, двигательной активностью и показателями качества жизни пациентов [12, 36]. При динамометрическом тестировании *m. quadriceps femoris*, стабилизирующей коленный сустав, у пациентов с коксартрозом установлено непостоянное снижение силы мышц-разгибателей КС, в то время как при гонартрозе отмечено достоверное снижение силы этих мышц [20, 28].

1.3. Биомеханика ходьбы после эндопротезирования коленного и тазобедренного суставов

ТЭТС приводит к положительным изменениям в биомеханике походки: увеличению длины шага, более равномерному распределению нагрузки на нижние конечности, уменьшению продолжительности периода двойного шага, увеличению скорости ходьбы [8, 34]. Облегчается поддержание вертикальной позы, походка становится более симметричной, повышается коэффициент ритмичности, функция толчка оперированной конечности увеличивается в 2–8 раз [17, 29].

Результаты восстановления ходьбы после эндопротезирования (ЭП) зависят от ряда объективных и субъективных факторов. К объективным факторам относят качество установки имплантата, созданные после операции механические условия для работы параартикулярных мышц, в частности, приводящих мышц после ТЭТС; к субъективным – степень функциональной недостаточности мышц: слабость, нарушение синхронной активности, состояние проприоцепции. Хирургические вмешательства по замене суставов приносят изменения в окружающие ткани и структуры сустава, и в большой степени – в механорецепторы. Формирование аномальных проприоцептивных сигналов изменяет двигательный и сенсорный контроль и поддерживает двигательные и чувствительные нарушения у пациентов после артропластики [8, 34].

Исследования показали, что в раннем послеоперационном периоде после ТЭТС даже при быстром снижении болевого синдрома сохраняются нарушения пространственно-временных параметров ходьбы как на оперированной, так и на неоперированной конечности в сравнении со значениями здоровых добровольцев. Отмечается достоверное увеличение периода одиночной опоры, периода двойной опоры, удлинение фазы падения контралатеральной стороны таза при опоре, сокращается время фазы переноса, укорочение длины шага, резкое снижение средней скорости до 0,52 м/с при норме в 1,39 м/с ($p=0,007$) и частоты шага до 75,4 шагов/мин при норме 113,8 шагов/мин ($p = 0,004$) [39].

После замены КС, несмотря на регресс болевого синдрома, у ряда пациентов наблюдается феномен «семенящей походки», характеризующийся следующими биомеханическими параметрами: укорочением ДШ и снижением СХ при близкой к норме длительности ЦШ; нередко в сочетании с увеличением продолжительности периода опоры (ПО), снижением односторонней опоры (ОО), возрастанием периода двойной опоры (ДО), при незначительной асимметрии [36]. С позиции адаптации такие изменения походки расцениваются как «симптомы разгрузки», проявление феномена «перераспределения функций», при котором период опоры на оперированную конечность становится меньше, чем на здоровую, а период переноса оперированной конечности продолжительнее, чем не оперированной [21, 22].

В метаанализе 2018 года, включившем 74 исследования, с участием 2477 пациентов после ТЭТС, было подтверждено достоверное улучшение пространственно-временных и кинематических показателей походки в ранний восстановительный период по сравнению с состоянием до операции. Через 6 недель после операции достоверно улучшаются СХ, частота шага, длина шага и амплитуда движений бедра во фронтальной плоскости по сравнению с состоянием до операции, а объем движений бедра во всех 3 плоскостях достоверно увеличивается через 3 месяца после операции. Однако даже спустя 12 месяцев после операции указанные временные параметры и подвижность бедра в сагиттальной плоскости остаются ниже значений здоровых лиц [35]. Кроме того, через 5 лет после ТЭТС пациенты демонстрируют более низкие функциональные результаты по тесту ходьбы на 3 метра и тесту «Встань и иди» по сравнению с показателями здоровых людей [37].

Достоверное увеличение амплитуды сгибания в ТБС и КС и амплитуды приведения в ТБС, в сочетании с достоверным уменьшением длительности всего ЦШ и всех его периодов и возрастанием СХ наблюдается через 1 год после артропластики суставов нижних конечностей, при этом у большинства больных показатели гониометрии и биомеханики ходьбы не достигают нормальных значений [28]. В отдаленные сроки после ТЭТС хромота сохраняется у большинства пациентов, несмотря на достигнутое восстановление силы отдельных мышц и рентгенологически подтвержденное правильное стояние эндопротеза. Считается, что это связано не столько с мышечной слабостью, сколько с нарушением проприоцептивной регуляции функции параартикулярных мышц, восстановление которой может продолжаться более 5 лет [37, 46].

Симптомы нарушения биомеханики походки после ТЭКС во многих аспектах схожи с теми, что возникают после ТЭТС. По мнению некоторых исследователей, они имеют неспецифический характер [21]. Прогрессирование дегенеративного процесса в КС сопровождается появлением фронтальных девиаций, а усиление вращения таза

свидетельствует о вовлечении более «высокого» уровня компенсации, что отражается на характере походки [21]. Как и в случае с ТЭТС, через 3 месяца после ТЭКС не наступает полного восстановления скорости шага, длины шага и периода двойной опоры [8, 9, 30]. По данным литературы, у пациентов, не удовлетворенных функциональным результатом ТЭКС и продолжающих испытывать болевой синдром, происходят наиболее выраженные негативные изменения в пространственно-временных характеристиках походки [36].

Сравнительный анализ пространственно-временных параметров биомеханики (СХ, частоты шага, длины шага, ширины шага, периода ОО, периода ДО, ПО) демонстрирует различную выраженность нарушений при спокойной и быстрой ходьбе у пациентов через 6 месяцев после ТЭТС и ТЭКС, а также при сравнении со здоровыми лицами. Доказана зависимость объема локомоторных нарушений от локализации эндопротеза. Замена дистально расположенных суставов вызывает более значительные изменения ходьбы. Взаимосвязь нарушений биомеханики походки и СХ в большей степени характерна после установки ТЭКС. По сравнению с ходьбой здоровых лиц, в ранние сроки после ТЭКС пациенты развивают меньшую скорость при спокойной ходьбе, предъявляют более короткую длину шага и более короткий период ОО на оперированную ногу, наряду с более длительным ПО у неоперированной нижней конечности; достоверное увеличение СХ, частоты шага, уменьшение асимметрии периода ОО отмечается через 6 месяцев после операции [33, 34, 37, 38, 41, 46].

У пациентов с ТЭТС, в отличие от пациентов с ТЭКС, через 6 мес. после операции не выявляется достоверная зависимость параметров шага от СХ, отсутствуют достоверные отличия пространственно-временных параметров ходьбы от здоровых лиц [34].

Анализ биомеханики ходьбы у пациентов после ТЭТС и ТЭКС позволил сформулировать ряд положений:

1. Период ОО при ходьбе в медленном темпе можно рассматривать в качестве количественного критерия функционального восстановления походки, так как именно в этот период шага вес тела полностью удерживается одной конечностью, а другая конечность находится в фазе переноса;

2. Исследование биомеханических параметров ходьбы нижних конечностей позволяет оценить степень асимметрии шага, а также уровень снижения нагрузки на прооперированный сустав. Это имеет большое клиническое значение, так как длительная асимметрия может стать фактором риска развития или прогрессирования дегенеративно-дистрофических изменений в контралатеральных суставах и закрепления феномена «семенящей походки» [34].

1.4. Методы исследования уровня боли, мышечной силы, локомоторной функции и активности в повседневной жизни у пациентов с дегенеративными заболеваниями коленного и тазобедренного суставов

В настоящее время для анализа функции ходьбы используются клинические, инструментальные методы и оценочные шкалы.

Обследование пациентов с нарушением функции ходьбы включает ортопедический осмотр, оценку мышечной силы (четырёхглавой мышцы бедра, передней большеберцовой мышцы, икроножной мышцы), подвижности коленного, тазобедренного, голеностопного суставов нижних конечностей, уровня боли, локомоторной активности и активности в повседневной жизни с использованием унифицированных тестов, шкал и опросников [31], а также биомеханический анализ ходьбы.

1.4.1. Визуальная аналоговая шкала боли (ВАШ)

Название на русском языке: Визуальная аналоговая шкала боли (ВАШ)

Оригинальное название: A Visual Analogue Scale – VAS

Источник: Бахтадзе М.А., Лусникова И. В., Канаев С.П. и др., 2020 [1].

Шкала ВАШ (рисунок 5) позволяет определить интенсивность боли, которая выражается крайними утверждениями «боль отсутствует» и «невыносимая боль», и вариантами интенсивности боли в интервале между ними. ВАШ боли представляет собой горизонтальный отрезок длиной 10 см (100 мм), на котором крайняя левая точка отражает отсутствие боли, а крайняя правая – невыносимую боль. Для удобства пациента на кривой отмечают отрезки по 10 мм. Пациента просят отметить на отрезке точку, соответствующую интенсивности его боли. После измерения длины отрезка (в миллиметрах) от начала до отмеченной пациентом точки производят интерпретацию показателя. Принято считать интервал от 0 до 4 мм как «боли нет»; интервал от 5 мм до 44 мм – «легкая боль»; от 45 мм до 74 мм — «умеренная боль»; от 75 мм до 100 мм – «сильная боль» [11].

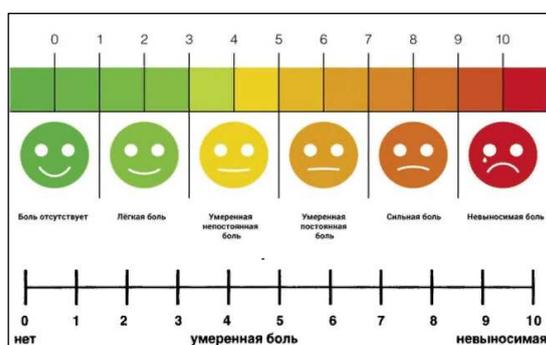


Рисунок 5 – Визуальная аналоговая шкала боли с интерпретацией делений

1.4.2. Шкала Комитета медицинских исследований

Оригинальное название: Medical research council (MRC) [11].

Источник: Medical Research Council Scale, R. Van der Ploeg, et al 1984.

Назначение: оценка мышечной силы.

Основу тестирования всех мышц составляют принципы мануального мышечного тестирования. Специалист выбирает исходное положение тестируемой части тела, движение, которое в максимальной степени нагружает тестируемую мышцу, и контролирует «выключение» из движения мышц-агонистов при выполнении задания тестируемой мышцей. Проводится сравнительная оценка больной и здоровой стороны. В 5 баллов оценивается способность выполнять задание при оказании внешнего сопротивления с максимальной силой; баллом 4 – способность выполнять задание при оказании небольшого сопротивления с преодолением гравитации; в 3 балла – способность выполнять задание, преодолевая силу гравитации, но неспособность его выполнения при оказании внешнего сопротивления; в 2 балла – неспособность выполнить движение против гравитации без внешнего сопротивления, но способность выполнять задание, в условиях, исключающих гравитационное воздействие; в 1 балл – неспособность выполнить движение, но при пальпации имеется напряжение оцениваемой мышцы; балл 0 – отсутствие напряжения оцениваемой мышцы при попытке выполнить задание [18], (Приложение 1).

1.4.3. Тест на определение силы мышц бедра и голени

Исходное положение тела пациента при проведении тестирования силы четырехглавой мышцы бедра:

1 – пациент находится в исходном положении сидя, ноги опущены вниз. Врач фиксирует голень в нижней трети, оказывает сопротивление разгибанию в коленном суставе. Сравнивают силу мышц обеих нижних конечностей;

2 – пациент находится в исходном положении лежа на спине, ноги свешиваются за край кушетки. Врач фиксирует голень в нижней трети, оказывает сопротивление разгибанию в коленном суставе.

Исходное положение тела пациента при проведении тестирования силы передней большеберцовой мышцы: пациент находится в исходном положении лежа на спине, ноги выпрямлены. Стопы находятся в среднем физиологическом положении. Рука врача находится на тыльной поверхности стопы. Врач оказывает сопротивление разгибанию в голеностопном суставе, надавливая на тыльную поверхность стопы и пальцев.

Исходное положение тела пациента при проведении тестирования силы сгибателей стопы: трехглавой мышцы голени, задней большеберцовой мышцы, длинного сгибателя

пальцев стопы и длинного сгибателя большого пальца – лежа на спине, ноги выпрямлены. Стопы находятся в среднем физиологическом положении. Рука врача располагается на подошвенной поверхности стопы. Врач оказывает сопротивление при подошвенном сгибании в голеностопном суставе, надавливая на переднюю треть подошвы и пальцы стопы [5]. Оценивают силу мышцы, применяя методику MRC.

1.4.4. Тест на прохождение расстояния 20 метров

Название на русском языке: «Тест на прохождение расстояния 20 м».

Оригинальное название: 20 meter Walk Test.

Источник: Motyl J.M., Driban J.B., McAdams E., et al. 2013 [42].

Назначение: определение скорости и изменений ходьбы при локомоции. Наиболее простой и надежный способ оценки ходьбы. Пациента просят пройти расстояние в 20 м с обычной, комфортной скоростью, допускается применение вспомогательных средств опоры. Вспомогательные средства опоры должны быть документированы.

Пациента просят пройти 10 м по прямой в комфортном темпе, повернуться на 180 градусов и пройти 10 м в обратную сторону. Фиксируется время прохождения всего пути и пересчитывается скорость ходьбы в м/с. Тест высокочувствителен для оценки походки у пациентов с различными патологическими состояниями. Для пациентов после эндопротезирования предпочтительно прохождение расстояния в 20 м по описанному протоколу. Независимо от использования средств дополнительной опоры тест позволяет определить скорость ходьбы и оценить координацию движений во время поворота.

1.4.5. Шкала оценки динамики активности в повседневной жизни Лекена

Название на русском языке: Шкала оценки динамики активности в повседневной жизни Лекена.

Оригинальное название: Leken's functional index.

Источник: Lequesne M. Indices of severity and disease activity for osteoarthritis. *Semin Arthritis Rheum.* 1991 Jun; 20 (6 Suppl 2): 48–54 [40].

Назначение шкалы – оценка динамики активности пациентов в повседневной жизни.

Содержит разделы: боль и дискомфорт; максимальная дистанция передвижения; повседневная активность.

Индекс тяжести состояния определяется суммой баллов по всем признакам.

Минимальное число баллов для каждой подшкалы – 0.

Максимальное число баллов для каждой подшкалы – 8.

Минимальный суммарный индекс – 0 баллов.

Максимальный суммарный индекс – 24 балла.

Степень ограничения жизнедеятельности оценивается по суммарному индексу:
Нет – 0. Легкое 1–4. Умеренное 5–7. Выраженное 8–10. Резко выраженное 11–13.
Крайне выраженное > = 14.

Минимальное клинически значимое отличие (MCID) для альгофункционального индекса Лекена для гонартроза составляет 2,75 баллов [40], (Приложение 2).

1.4.6. Шкала оценки коленного сустава (OKS)

OKS была разработана J. Dawson с соавт. в 1998 г. [18].

Оригинальное название: Oxford Knee Score (OKS).

Название на русском языке: шкала оценки коленного сустава OKS.

Назначение: OKS используется для измерения уровня болевого синдрома и функции коленного сустава у пациентов как до, так и после его первичного эндопротезирования.

Шкала OKS была валидирована и культурно адаптирована на русский язык А.Д. Синеокиным с соавт. в 2017 году, далее была усовершенствована Деминым А.С. и соавт. в 2023 году [6].

Шкала состоит из 12 вопросов, оценивающих параметры: боль (2 вопроса); функция коленного сустава во время выполнения ежедневных бытовых действий (10 вопросов).

Вопросы ранжируются по 4-балльной шкале: от 0 баллов – худший результат, до 4 баллов – лучший результат; максимальная сумма равна 48 баллам (Приложение 3).

1.5. Показания и противопоказания к исследованию биомеханики ходьбы

Показания к проведению исследования биомеханики ходьбы:

- диагностика: определение функциональных нарушений ходьбы после эндопротезирования суставов нижних конечностей на этапах МР;
- управление процессом реабилитации: подбор актуальных методов ЛФК для конкретного пациента;
- экспертиза: контроль эффективности проводимых реабилитационных мероприятий в процессе курса реабилитации и на этапах МР.

Противопоказания к проведению исследования биомеханики ходьбы:

- неспособность пациента к самостоятельной ходьбе, в том числе с дополнительной опорой, независимо от причины;
- неспособность пациента удерживать равновесие во время исследования самостоятельно, независимо от применения средств дополнительной опоры;
- неспособность пациента выполнить все необходимые для проведения

исследования инструкции специалиста по физической реабилитации;

- наличие визуальных, шумовых помех, перемещения людей или предметов в помещении во время исследования, резкие изменения яркости освещения, мокрый пол, отсутствие подходящей обуви, высокий риск падения;
- выраженные зрительные нарушения ($\leq 0,2$ согласно таблице остроты зрения Сивцева);
- заболевания и мацерация кожных покровов нижних конечностей в зонах крепления акселерометров;
- тромбоз, тромбофлебит вен нижних конечностей;
- сопутствующая патология в стадии обострения и декомпенсации;
- острые инфекционные заболевания.

1.6. Критерии отбора для проведения исследования биомеханики ходьбы

Модель пациента

В таблице 1 представлены критерии отбора пациентов для проведения исследования биомеханики ходьбы.

Таблица 1 – Критерии отбора пациентов для проведения исследования биомеханики ходьбы

Показатель	Критерии соответствия
Возраст	40–80 лет
Локализации и характер оперативного вмешательства	Эндопротезирование коленного сустава Эндопротезирование тазобедренного сустава
Давность после операции	<ul style="list-style-type: none">• послеоперационный период (7–12 дней);• ранний восстановительный период (до 3 месяцев);• поздний восстановительный период (3–6 месяцев);• функциональный период (более 6 месяцев)
Боль	Не выше 6 баллов по ВАШ боли при движениях
Мышечная сила	3–5 баллов по шкале Комитета медицинских исследований (MRC) в четырехглавой мышце бедра, мышцах-сгибателях и разгибателях стопы
Мобильность	<ul style="list-style-type: none">• Способность к ходьбе, в том числе с использованием средств дополнительной опоры.• Использование дополнительной опоры на костыли в ранний восстановительный период реабилитации.• Свободная ходьба без дополнительных средств опоры у всех пациентов в поздний восстановительный период.

Согласно представленным критериям, это мужчины и женщины 40–80 лет после операции по замене КС либо ТБС, независимо от срока давности операции, способные к самостоятельному передвижению, в том числе с дополнительными средствами опоры,

способные выполнять двигательные задания, имеющие жалобы на хромоту при ходьбе, боли в области оперированного сустава не выше умеренных значений.

В таблице 2 приведена модель пациента в категориях международной классификации функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья (МКФ) [10] для проведения исследования биомеханики ходьбы.

Таблица 2 – Модель пациента для проведения исследования биомеханики ходьбы

Составляющая модели	Описание составляющей	Методы оценки
Код диагноза по МКБ–10	M16.0; M16.1; M17.0; M17.1	Данные медицинской документации
Возраст (лет)	40–80 лет	
Клиническая характеристика	Пациенты с легкой и умеренной дисфункцией нижней конечности в послеоперационном, раннем и позднем восстановительном периодах после первичного ТЭТС или ТЭКС, способные к самостоятельному передвижению	Данные медицинской документации
Характеристика функции нижней конечности	Сила четырехглавой мышцы бедра, мышц сгибателей и разгибателей стопы 3–5 баллов Боль при движении ≤ 6 баллов	MRC ВАШ боли
Домены МКФ, связанные с нарушением функции ходьбы	Домен структуры: s750 Структура нижней конечности Домены функции: b280.1–2 Ощущение боли b260.1–3 Проприоцептивная функция b710.1–3 Функция подвижности сустава b730.1–3 Функция мышечной силы b770.1–3 Функции стереотипа походки Домены активности <i>Ходьба и передвижение</i> d450.1–3 Ходьба d460.1–3 Передвижение в различных местах <i>Самообслуживание</i> d598.1–3 Самообслуживание	Рентгенография нижней конечности ВАШ боли Шкала оценки коленного сустава (OKS) Ортопедический осмотр Гониометрия MRC Тест на определение силы мышц бедра и голени Тест «Ходьба с регистрацией времени и расстояния» на 20 м Биомеханика походки Шкала оценки динамики активности в повседневной жизни Лекена Шкала оценки коленного сустава (OKS) Биомеханика походки Опросник SF–36
Функциональная независимость	3–4 балла по ШРМ	Шкала реабилитационной маршрутизации (ШРМ)
Этап МР	2–й этап МР	

1.7. Методика проведения анализа биомеханики походки

Анализаторы походки отечественных производителей соответствуют стандарту оснащения специализированных, санаторно-курортных организаций, медицинских организаций особого типа, в том числе центрах медицины катастроф, военно-врачебной экспертизы, бюро медико-социальной экспертизы согласно приказам Министерства здравоохранения РФ от 31 июля 2020 г. № 788н и от 5 мая 2016 г. № 279н.

Тренажер ходьбы с БОС «Стэдис» (ООО «Нейрософт», Россия) в комплектации «Оценка» (регистрационное удостоверение № РЗН 2018/7458 от 07.08.2018). Для регистрации параметров ходьбы в системе «Стэдис» использовались биометрические сенсоры «Нейросенс», фиксирующие скорость вращений и ускорение в трех взаимно перпендикулярных плоскостях. Комплектация устройства предусматривает установку от 3 до 12 сенсоров на конечностях и на теле пациента. Сенсоры устанавливаются симметрично на обе конечности: 1 – на границе верхней и средней трети латеральной поверхности каждого бедра (2 сенсора), 2 – над латеральной лодыжкой каждой голени (2 сенсора), 3 – на середину тыльной поверхности каждой стопы (2 сенсора), 4 – на дистальный отдел наружной поверхности каждого предплечья или плеча (2 сенсора); на туловище: 5 – на зону пояснично-крестцового перехода (1 сенсор), 6 – между лопатками в зоне проекции остистого отростка 4 грудного позвонка (1 сенсор); 7 – остальные датчики могут быть установлены в зависимости от цели и задач исследования. Минимальное количество датчиков для определения параметров ходьбы равно трем (рисунок 6).

Сенсоры крепятся на ленты-липучки (velcro), что обеспечивает хорошую фиксацию и отсутствие значимого смещения во время ходьбы (рисунок 7). Время диагностической процедуры: 1) ходьба по ровной поверхности в течение 2 минут; 2) обработка данных, выведение параметров походки – 2 минуты.

Общее время исследования от прихода пациента до получения готового протокола исследования составляет не более 5 минут.

Комплекс для диагностики, лечения и реабилитации больных с двигательной патологией «Биокинект» (ООО «Неврокор», Россия), регистрационное удостоверение № РЗН 2018/7558 31.08.2018). Для анализа параметров ходьбы использовались датчики «Траст-М», регистрирующие линейные и ротационные движения, гониограммы по трем осям (рисунок 8). Комплектация устройства предусматривает установку от 3 до 16 сенсоров, сенсоры устанавливаются аналогично сенсорам тренажера ходьбы с БОС «Стэдис» (рисунок 9). Сенсоры закрепляются на ленты-липучки (Velcro). Процедура проведения исследования биомеханики. регистрация параметров и формирование отчета аналогична программе тренажера ходьбы с БОС «Стэдис».



Рисунок 6 – Внешний вид монитора и маршрутизатора



Рисунок 7 – Расположение беспроводных биометрических сенсоров «Нейросенс» тренажера ходьбы с БОС в комплектации «Оценка»

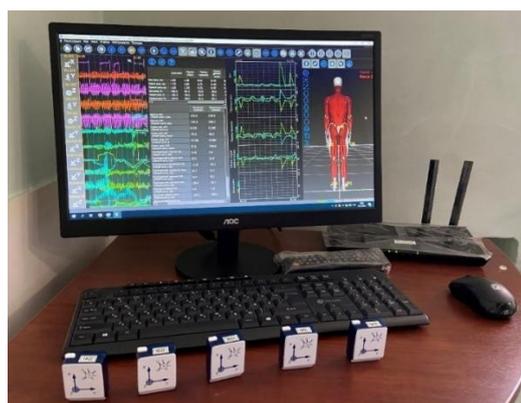


Рисунок 8 – Внешний вид монитора и беспроводных биометрических сенсоров комплекса «Биокинект» для диагностики, лечения и реабилитации больных с двигательной патологией, подготовленных к проведению исследования

Особенности тестирования походки с использованием комплекса для диагностики, лечения и реабилитации больных с двигательной патологией «Биокинект»: время диагностической процедуры в программе исследования производителем не оговорено,

поэтому нами выбрана продолжительность исследования – 3 минуты, что является достаточным для определения паттерна ходьбы. Так как обследуемые пациенты передвигаются с дополнительной опорой на костыли, не меняя настроек программы, мы перенесли условия выполнения исследования с беговой дорожки на ровную поверхность, что не запрещено разработчиками программы.

В тренажере ходьбы с БОС «Стэдис» в комплектации «Оценка» и в комплексе для диагностики, лечения и реабилитации больных с двигательной патологией «Биокинект» применяется единый принцип работы. Сигналы от сенсоров по беспроводному каналу передаются в компьютер со специально установленной программой, где информация автоматически регистрируется, обрабатывается и формируется протокол с указанием количественных временных, пространственных и кинематических характеристик.

Протокол сохраняется в электронной базе данных.



Рисунок 9 – Расположение беспроводных биометрических сенсоров комплекса «Биокинект» для диагностики, лечения и реабилитации больных с двигательной патологией на теле пациента

1.8. STOP-сигналы для прекращения исследования биомеханики ходьбы

STOP-сигналами для прекращения исследования биомеханики ходьбы являются:

1. Жалобы пациента на головокружение и тошноту.

2. Общее ухудшение состояния пациента.
3. Нарастание общей слабости при проведении биомеханического исследования.
4. Появление боли в местах крепления сенсоров.

1.9. Анализ биомеханики походки

В современной медицине стандартом анализа биомеханики походки в клинике является синхронная регистрация пространственных, временных, кинематических параметров ходьбы. В отдельных модификациях программной части комплекса для диагностики, лечения и реабилитации больных с двигательной патологией «Биокинект» показатель «скорость ходьбы» рассчитывался автоматически, в нашем случае скорость ходьбы рассчитывали на основании результата проведения «Теста на прохождение расстояния 20 метров».

В диагностических программах и аналитических протоколах разные производители применяют различные наименования для одних и тех же параметров, что вносит путаницу в терминах и затрудняет интерпретацию данных. В настоящих методических рекомендациях ключевые аспекты биомеханики ходьбы в клинической практике, названия параметров и их трактовка соответствуют терминологии, предложенной в монографии Д.В. Скворцова «Клинический анализ движений. Анализ походки», 1996 г. [22].

Временные параметры по Скворцову Д.В.: цикл шага (секунды), шаг (полушаг) (в секундах), частота шага (шаг в минуту) и все периоды опоры и переноса в процентах (период опоры, одиночная опора, двойная опора, первая двойная опора, вторая двойная опора, начало второй двойной опоры, период переноса); пространственные параметры по Д.В. Скворцову – скорость ходьбы (метры в секунду), длина шага (в см), база шага (в см), разворот стопы (в градусах). Кинематические параметры по Д.В. Скворцову – все угловые характеристики изменения положения сегментов конечностей и туловища в градусах, в том числе движение таза в трех взаимно перпендикулярных плоскостях.

В отчете тренажера ходьбы с БОС «Стэдис» в комплектации «Оценка» временные параметры обозначены следующим набором: цикл шага (секунды), шаг (полушаг) (в секундах), частота шага (шаг в минуту). К фазовым параметрам отнесены период опоры, одиночная опора, двойная опора, первая двойная опора, вторая двойная опора, начало второй двойной опоры, период переноса, которые фактически являются временными параметрами, согласно данным Д.В. Скворцова [22]. Пространственные параметры ходьбы представлены показателями: высота подъема стопы (см), циркумдукция (см). К кинематическим параметрам относится амплитуда сгибания/разгибания (°), амплитуда фронтальных сгибаний (°), амплитуда вращения (°), которые отражают изменение

положения таза в трех взаимно перпендикулярных плоскостях в течение цикла шага. Все эти параметры дополнены разницей между правой и левой конечностями и характеризуют симметричность ходьбы (таблица 3).

В отчете комплекса для диагностики, лечения и реабилитации больных с двигательной патологией «Биокинект» параметры ходьбы выдаются списком, последовательность параметров в котором соответствует указанным выше (временные, пространственные, кинематические), с сохранением общепринятой размерности, но без разделения их на указанные группы. При этом список включает основные показатели биомеханики ходьбы: цикл шага, шаг, частота шага, период опоры, период переноса, период одиночной опоры, период двойной опоры, период первой двойной опоры, период второй двойной опоры, начало второй двойной опоры, длина шага, длина двойного шага, амплитуду смещения крестца по трем взаимно перпендикулярным плоскостям, коэффициент ритмичности, кинематические параметры движения тазобедренного (сгибание, приведение, пронация) и коленного суставов (сгибание, пронация, приведение), автоматически определяется скорость ходьбы.

Таблица 3 – Основные параметры биомеханики походки, используемые для диагностики с помощью комплекса для диагностики, лечения и реабилитации больных с двигательной патологией «Биокинект» и тренажера ходьбы с БОС «Стэдис» в комплектации «Оценка»

№	Основные характеристики ходьбы	Определяемые параметры	Единицы измерения	Здоровые
1	Пространственные параметры ходьбы: – рассчитываются для каждой конечности отдельно; – рассчитывается разница показателей правой и левой конечностей*	цикл шага	секунда (с)	$1,2 \pm 0,1$
		частота шага	шаги/мин	$50,3 \pm 5,1$
2	Временные параметры ходьбы – рассчитывается для каждой конечности отдельно; – рассчитывается разница показателей правой и левой конечностей	период опоры	%	$64,5 \pm 1,9$
		одиночная опора	%	$35,9 \pm 1,8$
		двойная опора	%	$29,1 \pm 3,4$
		первая двойная опора	%	$14,1 \pm 1,8$
		вторая двойная опора	%	$14,1 \pm 1,8$
		период переноса	%	$35,9 \pm 1,9$

Примечание: *функция определения скорости ходьбы в метрических единицах имеется не во всех измерительных комплексах, в связи с чем возникает необходимость выполнения отдельного измерения. В нашей практике использовался «Тест на прохождение расстояния 20 м».

За нормативные показатели биомеханики ходьбы нами были приняты данные, полученные при обследовании здоровых лиц, не имеющих заболеваний и травм ОДА в анамнезе [22].

Симметрию шага у пациентов после ЭП суставов нижних конечностей в

практической работе целесообразно оценивать по длительности периода одиночной опоры, так как в этот период оперированная конечность испытывает наибольшую осевую нагрузку. Наиболее часто показатель асимметрии рассчитывается по разнице величины одиночной опоры оперированной и контралатеральной конечности и в норме не превышает 6% [22].

Показатель симметрии рассчитывался по формуле:

N1 – период одиночной опоры оперированной ноги

N2 – период одиночной опоры неоперированной ноги

Показатель симметрии (%) = 100 x (N1 — N2)/N1

Период одиночной опоры – показатель, имеющий большое клиническое значение, отражающий переносимость конечностью осевой нагрузки на конечность, чем больше асимметрия, тем заметнее хромота при ходьбе [22].

Для получения более точной информации о нарушениях ходьбы у пациентов после ТЭТС и ТЭКС необходимо оценивать биомеханику ходьбы при разных скоростях (быстрой и медленной) для обеих нижних конечностей, сравнивая с нормальными показателями [23], (таблица 4).

Таблица 4 – Варианты градации скорости ходьбы [23]

Тип ходьбы	Частота шага (шаг /мин)	Скорость ходьбы	
		км/ч	м/с
Очень медленная	60–70	2,5–3,0	0,69–0,83
Медленная	70–90	3,0–3,5	0,83–0,97
Средняя	90–120	4,0–5,6	1,11–1,56
Быстрая	120–140	5,6–6,4	1,56–1,78
Очень быстрая	>140	>6,5	>1,78

Безопасная скорость ходьбы здоровых людей в возрасте 59 лет составляет примерно 1,4 м/с, при частоте шага 115–120 шагов/мин [15]. В повседневной жизни большинство людей пожилого возраста совершают ходьбу в среднем с частотой шага выше 70 шагов в минуту, которую ряд авторов рассматривает как порог физической активности умеренной интенсивности [47]. Снижение скорости ходьбы до 1,0 м/с свидетельствует о повышении риска падения [5].

2. Оценка результатов собственных исследований биомеханики ходьбы

Для оценки изменения функционального статуса пациента в процессе восстановления локомоторной активности после артропластики и коррекции курса МР, наряду с данными инструментального обследования, необходимо проведение тестирования для выявления степени выраженности болевого синдрома, определения подвижности оперированного сустава, силы мышц бедра, скорости ходьбы, уровня повседневной

независимости.

Нами обследовано 100 пациентов после тотального эндопротезирования крупных суставов нижних конечностей, направленных для проведения 2 этапа МР. Из них 51 пациент после ТЭТС (22 пациента (11 мужчин и 11 женщин, средний возраст $61,0 \pm 11,9$ лет) поступили через 7,5 [7,0; 22,0] дней, передвигались с костылями; 29 пациентов (10 мужчин и 19 женщин, средний возраст $61,0 \pm 8,7$ лет) поступили через 217 [102; 940] дней, передвигались без костылей); 49 пациентов после ТЭКС (14 пациентов (1 мужчина и 13 женщин, средний возраст $65,9 \pm 5,8$ лет) поступили через 7,5 [7,0; 10,0] дней, передвигались с костылями; 35 пациентов (8 мужчин и 27 женщин, средний возраст $65,4 \pm 10,4$ лет) поступили через 190 [102; 548] дней, передвигались без костылей). Группу контроля составили 27 здоровых лиц.

Программа 2 этапа МР, рассчитанная на 2-недельное пребывание в условиях реабилитационного стационара, включала кинезиотерапию, массаж конечностей и физиотерапию. Лечебную гимнастику проводили по методике ведения пациентов после эндопротезирования ТБС или КС, с назначением физических упражнений на нормализацию подвижности оперированного сустава, для укрепления четырёхглавой мышцы бедра, отводящих мышц, растягивания мышц задней поверхности бедра и голени, на координацию и проприоцепцию, дыхательных, общеукрепляющих упражнений, ежедневно, по 30 минут, всего на курс 10 процедур [11, 12, 13].

Курс физиотерапевтических процедур состоял из низкоинтенсивной низкочастотной магнитотерапии и низкоинтенсивной лазеротерапии на область операции, с использованием матричного излучателя по стандартной методике, 10 процедур ежедневно. Лечебный классический массаж обеих нижних конечностей и пояснично-крестцовой области назначался с целью уменьшения выраженности болевого, отёчного синдрома, улучшения трофики в количестве 10 процедур, ежедневно.

После курса МР у всех больных, независимо от давности операции, отмечалось достоверное снижение выраженности боли по ВАШ, увеличение СХ и улучшение функционального статуса по данным альгофункционального индекса Лекена. Сила мышц бедра достоверно возросла у пациентов всех групп за исключением пациентов в отдаленные сроки после ТЭТС, ходивших без дополнительной опоры (таблица 5).

Таблица 5 – Динамика функциональных показателей у пациентов после курса медицинской реабилитации

Вид операции/ Показатель	ТЭТС на костылях (n=22)		ТЭТС без опоры (n=29)		ТЭКС на костылях (n=14)		ТЭКС без опоры (n=34)	
	До курса	После курса	До курса	После курса	До курса	После курса	До курса	После курса
ВАШ (балл)	4,3±2,0	2,4 ±1,4*	4,3±1,7	2,6±1,5*	5,3±1,8	3,1±1,1*	4,4±1,9	3,1±1,6*
Скорость ходьбы (м/с)	0,6±0,3	0,8±0,3*	1,1±0,4	1,2±0,4*	0,6±0,1	0,6±0,2*	1,0±0,3	1,2±0,3*
Альгофункциональный индекс Лекена (балл)	11,9±4,9	10,0±4,3*	7,1±3,6	6,3±3,3*	5,5±2,1	3,1±2,2*	8,9±5,0	7,9±4,8*
Сила m. quadriceps femoris (балл)	3,3±1,3	4,1±0,8*	4,8±0,7	5,0±0,4	3,0±0,6	4,0±0,7*	3,9±0,8	4,5±0,7*

Примечание: *– достоверность различий при значении $p < 0,001$

По мере увеличения срока после операции и восстановления самостоятельной ходьбы без дополнительной опоры в поздний восстановительный период (270 дней после операции) у всех пациентов увеличивалась СХ, которая достигла средних значений в пределах 1,0–1,1 м/с и возросла до 1,2 м/с после проведения МР; сила четырехглавой мышцы бедра достоверно выросла у пациентов после ТЭКС, одновременно с увеличением подвижности коленного сустава. Силовые характеристики четырехглавой мышцы бедра оперированной и неоперированной конечностей в поздний восстановительный период после ТЭТС практически не изменились, вероятно в связи с достижением к этому моменту устойчивого функционального уровня.

Клиническое восстановление сопровождалось улучшением биомеханических параметров ходьбы: увеличением скорости ходьбы, укорочением продолжительности цикла шага, нормализацией периода одиночной опоры, уменьшением асимметрии шага.

После проведения курса МР у всех обследованных больных, независимо от давности операции, было достигнуто достоверное улучшение основных изучаемых клинических параметров: снижение выраженности боли по ВАШ с 4–5 баллов на 2 балла, улучшение функционального статуса по данным альгофункционального индекса Лекена. В ранний восстановительный период у всех пациентов отмечалось достоверное увеличение силы мышц бедра, с более выраженной динамикой после ТЭТС. Увеличение скорости ходьбы после курса МР с 0,6 м/с до 0,8 м/с отмечалось у пациентов в ранний восстановительный период (через 7–20 дней) после ТЭТС, но в меньшей степени после ТЭКС.

У пациентов в ранний восстановительный период после операции цикл шага обеими нижними конечностями, оперированной и контралатеральной, был достоверно дольше, чем у здоровых обследованных, частота шага и скорость ходьбы меньше здоровых. Анализ

клинико-инструментальных данных выявил достоверную высокую отрицательную корреляционную связь между величиной цикла шага и скоростью ходьбы оперированной ноги ($r = -0,62$) ($p < 0,05$) и контралатеральной ноги ($r = -0,73$) ($p < 0,05$) в раннем восстановительном периоде после ТЭТС, оперированной ноги ($r = -0,60$) ($p < 0,05$) и контралатеральной ноги ($r = -0,52$) ($p > 0,05$) – после ТЭКС.

Эта характерная для пациентов после эндопротезирования особенность походки сохранилась и после курса реабилитации, несмотря на достоверное уменьшение параметра у пациентов после ТЭТС и наличия тенденции к снижению у пациентов после ТЭКС (рисунок 10).



Рисунок 10 – Динамика цикла шага (с) у пациентов в ранний восстановительный период после ТЭТС и ТЭКС при проведении медицинской реабилитации

Примечание: * – $p < 0,05$ достоверность различий показателей в динамике; # – $p < 0,05$ достоверность различий показателей в сравнении со здоровыми.

В ранний восстановительный период продолжительность одиночной опоры (ОО), которая характеризует объем осевой нагрузки, на оперированную ногу после ТЭТС и особенно после ТЭКС была достоверно короче как по сравнению с контралатеральной нижней конечностью, так и с показателями здоровых лиц (рисунок 11).

Одиночная опора на неоперированную конечность у пациентов после ТЭКС и ТЭТС соответствовала значению параметра здоровых лиц на протяжении всего периода наблюдения, но была больше в сравнении с оперированной конечностью.

Динамика одиночной опоры в ранний восстановительный период

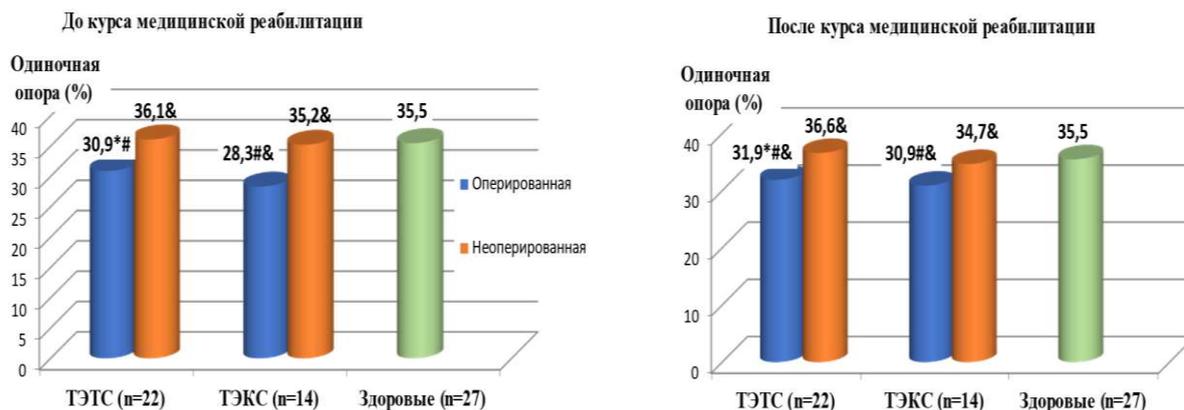


Рисунок 11 – Динамика показателей одиночной опоры (%) у пациентов в ранний восстановительный период после ТЭТС и ТЭКС при проведении медицинской реабилитации

Примечание: # – $p < 0,05$ достоверность различий показателей в сравнении со здоровыми, * – $p < 0,05$ в динамике курса, & – $p < 0,05$ достоверность различий показателей в сравнении с контралатеральной стороной

После курса МР время ОО на оперированную ногу достоверно увеличилось у пациентов после ТЭТС ($p=0,003$), а у пациентов после ТЭКС изменилось недостоверно ($p=0,07$). Период одиночной опоры на неоперированную конечность, равный периоду переноса оперированной ноги, у пациентов с ТЭТС и ТЭКС не имел достоверных отличий от исходных показателей и показателей одиночной опоры здоровых лиц. Таким образом реализовался принцип распределения нагрузки при ходьбе: щадящая нагрузка по оси оперированной нижней конечности обеспечивалась более коротким временем ее одиночной опоры, более коротким временем периода переноса неоперированной конечности и оптимальным временем переноса оперированной конечности при опоре на неоперированную конечность.

После курса МР показатели всех изучаемых периодов ходьбы приобретают более гармоничный физиологичный характер. Наиболее выраженная асимметрия одиночной опоры между оперированной и неоперированной конечностями в 16% определялась до курса МР, которая уменьшилась до 10% после курса.

В позднем восстановительном периоде после эндопротезирования ТБС и КС продолжительность ЦШ пациентов по сравнению с ранним достоверно уменьшилась ($p < 0,001$), возросла СХ ($p < 0,001$) (рисунок 12). У пациентов с ТЭТС курс реабилитации приводил к укорочению цикла шага обеими конечностями ($p < 0,001$), что определило достижение более высокой скорости ходьбы. После ТЭКС увеличение СХ сопровождалось уменьшением цикла шага преимущественно контралатеральной конечностью, вероятно, как компенсация функциональной неподготовленности оперированной конечности к более

быстрой ходьбе (рисунок 12).

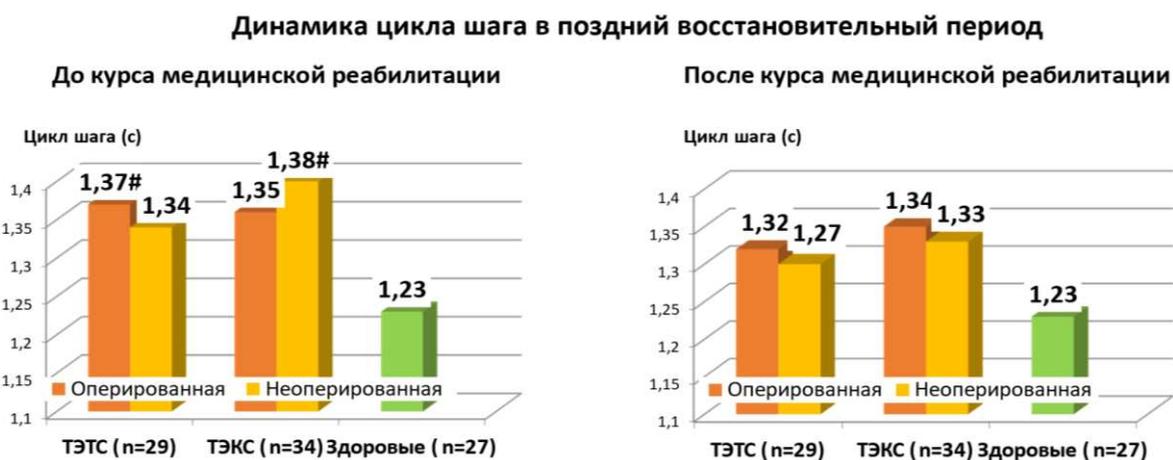


Рисунок 12 – Динамика цикла шага (с) у пациентов в поздний восстановительный период после ТЭТС и ТЭКС при проведении медицинской реабилитации

Примечание: * – $p < 0,05$ достоверность различий показателей в динамике; # – $p < 0,05$ достоверность различий показателей в сравнении со здоровыми

В позднем восстановительном периоде корреляционная зависимость СХ и ЦШ оперированной ноги и контралатеральной конечности у пациентов с ТЭТС не выявлена ($r = -0,19$) ($p > 0,05$), ($r = -0,22$) ($p > 0,05$), соответственно, а у пациентов с ТЭКС сохранялась умеренная отрицательная корреляционная связь между скоростью ходьбы и циклом шага оперированной ноги ($r = -0,55$) ($p < 0,05$) и контралатеральной ноги ($r = -0,48$) ($p > 0,05$).

В позднем восстановительном периоде в сравнении с ранним восстановительным у всех пациентов, независимо от локализации эндопротеза, возросла продолжительность одиночной опоры обеих конечностей. Однако продолжительность периода одиночной опоры неоперированной конечности уже превышала аналогичный параметр здоровых лиц, а оперированной – соответствовала нормальным значениям (рисунок 13). Неравномерное увеличение периода одиночной опоры оперированной и неоперированной конечности при увеличении СХ: в оперированной – в соответствии с нормальными значениями, а в неоперированной – с превышением аналогичного показателя здоровых лиц, указывало на более продолжительное время опоры на неоперированную ногу для обеспечения фазы переноса оперированной конечностью в условиях более быстрой ходьбы.

Асимметрия походки рассчитывалась по разнице параметров одиночной опоры оперированной и контралатеральной конечности. Разница в продолжительности периода одиночной опоры между оперированной и контралатеральной ногой отмечалась у пациентов обеих групп как до, так и после курса реабилитации. Однако у пациентов с ТЭКС асимметрия носила более выраженный характер (рисунок 13).

Динамика одиночной опоры в поздний восстановительный период

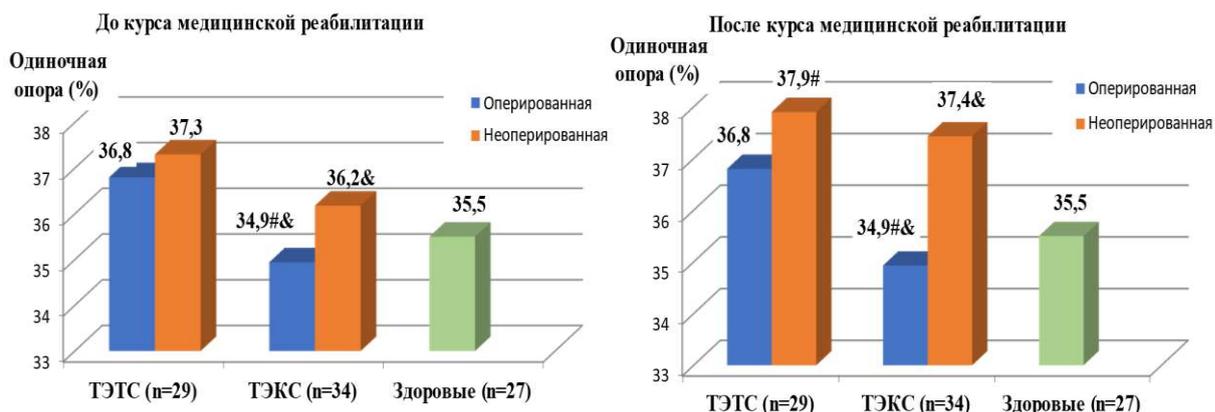


Рисунок 13 – Динамика показателей одиночной опоры (%) у пациентов в поздний восстановительный период после ТЭТС и ТЭКС при проведении медицинской реабилитации

Примечание: # – $p < 0,05$ достоверность различий показателей в сравнении со здоровыми, * – $p < 0,05$ достоверность различий показателей в динамике, & – $p < 0,05$ достоверность различий показателей в сравнении с контралатеральной стороной

До проведения курса МР у пациентов в позднем восстановительном периоде после ТЭКС была выявлена достоверная слабая корреляционная связь ($r=0,39$; $p=0,03$) между продолжительностью цикла шага оперированной ногой и болью по ВАШ; а также достоверная умеренная обратная корреляционная связь ($r= -0,58$; $p < 0,0001$) между продолжительностью периода одиночной опоры на оперированную конечность и альгофункциональным индексом Лекена: то есть чем меньше значение индекса Лекена, тем выше опороспособность оперированной конечности и ОО ближе к показателю здоровых лиц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В имеющихся клинических рекомендациях представлены протоколы ведения пациентов после эндопротезирования коленного и тазобедренного суставов, однако у большинства пациентов на протяжении длительного времени сохраняются хромота, ограничение скорости ходьбы и подвижности оперированного сустава.

Для раннего восстановительного периода после эндопротезирования суставов нижних конечностей характерным является паттерн ходьбы с низкой скоростью, продолжительным циклом шага и симптомами разгрузки оперированной конечности (асимметрия опоры). В позднем восстановительном периоде, несмотря на естественное восстановление ходьбы с возрастанием скорости, гармонизации структуры цикла шага, сохраняются отличия от здорового паттерна, особенно после эндопротезирования коленного сустава.

Наиболее информативными параметрами анализа походки являются:

1. Скорость ходьбы
2. Цикл шага
3. Частота шага
4. Период одиночной опоры
5. Симметрия шага

Инструментальный биомеханический анализ походки проводится в сочетании с данными клинического осмотра и унифицированными шкалами и тестами.

Таким образом, инструментальный метод анализа биомеханических характеристик ходьбы может служить для врача важным дополнением при выборе правильных реабилитационных стратегий в каждом клиническом случае, учитывая множество индивидуальных особенностей двигательной адаптации к ходьбе в условиях эндопротезирования. Несмотря на значительную вариативность индивидуальных параметров движения, современные отечественные аппаратно-программные комплексы позволяют получить результаты биомеханики ходьбы пациента в абсолютных и относительных значениях и облегчают выявление основных нарушений, разработку персонализированной программы двигательной реабилитации после эндопротезирования суставов нижних конечностей, оценку динамики восстановления и эффективности медицинской реабилитации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бахтадзе М.А., Лусникова И. В., Канаев С.П., Расстригин С.Н. Боль в нижней части спины: какие шкалы и опросники выбрать? // Российский журнал боли. – 2020.– №18(1). – С.22–28.
2. Витензон А.С. Петрушанская К. А. Физиологические обоснования метода искусственной коррекции движений посредством программируемой электростимуляции мышц при ходьбе // Российский журнал биомеханики. – 2010. – Т.14. – 2 (48). – С. 7–27.
3. Воронцова О.И., Лозовская В.М. Структура шагового цикла по данным анализа кинетических и кинематических параметров походки человека // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2017. №3. Публикация 1–1. 2017. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/struktura-shagovogo-tsikla-po-dannym-analiza-kineticheskikh-i-kinematcheskikh-parametrov-pohodki-cheloveka> (дата обращения: 23.01.2025).
4. Гераскина Л.А., Галаева А.А., Шейхова Р.Д. Фонякин А.В., Максимова В.Ю. Факторы риска падений у больных различных возрастных групп с хронической ишемией головного мозга // Анналы клинической и экспериментальной неврологии. – 2022. –Т. 3, вып.16. – С. 5–14.
5. Губенко В.П. Мануальная терапия в вертеброневрологии / В.П. Губенко. – Киев: Изд-во Здоров'я, 2003. – 453с. – С. 148–149.
6. Демин А.С., Середа А.П., Парфеев Д.Г., Авдеев А.И., Джавадов А.А., Сулимов Э.Д. Адаптация русскоязычной версии Oxford Knee Score // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2023. – № 19 (2). – С.153–158.
7. Думцев В.В., Барулин А.Е. Возможности коррекции биомеханических нарушений тазового региона с помощью оригинального метода биологической обратной связи // Российский журнал боли. – 2021. – Т. 1. – №19. – С.31–35.
8. Кирпичев И.В., Королева С.В., Усмани М.А. Исследование временных характеристик ходьбы у пациентов с коксартрозом // Физическая и реабилитационная медицина. — 2023. — Т. 5. — № 2. — С. 65–71.
9. Королева С.В. Технология объективной оценки двигательных нарушений в динамике реабилитации у больных травматолого-ортопедического профиля // Физическая и реабилитационная медицина. — 2022. — Т.4. — №1. — С. 47–52.
10. Международная классификация функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья. МКФ. – Женева: ВОЗ, 2001. – 342с.
11. Иванова Г.Е., Балашова И.Н., Белкин А.А. и др. Методические рекомендации для Пилотного проекта «Развитие системы медицинской реабилитации в Российской Федерации». Фаза 1. Практическое применение оценочных шкал в медицинской реабилитации. – 2015–2016.
12. Минасов Б.Ш., Якупов Р.Р., Аскарлов А.Ф., Хаиров Т.Э., Сироджов К.Х., Каримов К.К., Шурмелев К.И. Сравнительный анализ результатов артропластики тазобедренного сустава на основе биометрии фаз опоры и ходьбы // Медицинский вестник Башкортостана. – 2015. – Том 10 (58). – №4. – С.35–40.
13. Министерство здравоохранения Российской Федерации. Клинические рекомендации «Гонартроз», 2021–2022–2023 (03.09.2021). [Электронный ресурс] https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/667_1 (дата обращения: 23.01.2025).
14. Министерство здравоохранения Российской Федерации. Клинические рекомендации «Коксартроз», 2021–2022–2023 (03.09.2021). Утверждены Минздравом РФ.

[Электронный ресурс] https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/666_1 (дата обращения: 23.01.2025).

15. Ткачева О.Н. Нарушения походки в пожилом и старческом возрасте: методические рекомендации / М.: Прометей, 2019.— 48 с.
16. Панченкова Л.А. Майчук Е.Ю., Мартынов А.И., Хамидова Х.А., Юркова Т.Е., Воеводина И. В., Макарова И.А. Дифференциальный диагноз и лечение суставного синдрома: учеб.–метод. Пособие. – М.: РИО МГМСУ, 2018.– 65 с.
17. Ромакина Н.А., Киреев С.И., Решетников А.Н., Фроленков А.В., Норкин И.А. Использование клинического анализа движений в оценке функционального состояния двигательной сферы у пациентов после эндопротезирования тазобедренных суставов // Саратовский научно–медицинский журнал. – 2016. – Т.12, вып.2. – С.185–190.
18. Рубрикатор клинических рекомендаций. Клинические шкалы, индексы, опросники [Электронный ресурс] <https://cr.minzdrav.gov.ru/scale/85c414a3-9ed1-4187-8c3d-7e1ea9b6a76a> (дата обращения: 23.01.2025).
19. Середа А.П., Кочиш А.А., Черный А.А., Антипов А.П., Алиев А.Г., Вебер Е.В., Воронцова Т.Н., Божкова С.А., Шубняков И.И., Тихилов Р.М. Эпидемиология эндопротезирования тазобедренного и коленного суставов и перипротезной инфекции в Российской Федерации // Травматология и ортопедия России. – 2021. – №27(3). – С.84–93.
20. Скворцов Д.В. Диагностика двигательной патологии инструментальными методами: анализ походки, стабилметрия. – М.: Научно–медицинская фирма МБН, 2007. – 640 с.
21. Скворцов Д. В., Королева С.В. Динамика параметров ходьбы в процессе реабилитации после тотального эндопротезирования коленного сустава // Научно–практическая ревматология. – 2019.– Т.57, вып.6. – С.704–707.
22. Скворцов Д.В. Клинический анализ движений. Анализ походки. Издательство НПЦ. – «Стимул», Иваново, 1996. – 344 с.
23. Смоленский А.В., Капустина Н.В., Хафизов Н.Н. Оздоровительное значение ходьбы как метода профилактики заболеваний и увеличения продолжительности жизни человека // РМЖ. Медицинское обозрение. – 2018. – №1, вып.1. – С. 57–61.
24. Сомов Д.А., Макарова М.Р., Майоров Е.А., Турова Е.А., Лямина Н.П. Оценка биомеханики ходьбы пациентов в раннем восстановительном периоде после эндопротезирования тазобедренного сустава // Вестник восстановительной медицины. – 2024. – № 23(4). –С.38–46.
25. Травматизм, ортопедическая заболеваемость, состояние травматолого-ортопедической помощи населению России в 2020 году. – Москва: ЦИТО, 2022.
26. Улитин И. Б. Термины и понятия в биомеханике двигательных действий: учеб-метод пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2019. – 75 с.
27. Фирилёва Ж. Е., Загрядская О.В. Педагогические технологии домашней реабилитации при инсульте. – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2017. – 242 с.
28. Фищенко А.В. Влияние изменения длины рычага действий сил абдукторов бедра после эндопротезирования тазобедренного сустава на особенности ходьбы пациентов (аналитический обзор литературы) // Травма. – 2018.– Т. 19 (5). – С.20–27.
29. Хрулев АЕ, Попова ПС, Белова АН, Курятникова КМ, Хрулев СЕ. Шкалы и опросники для оценки пациентами исходов эндопротезирования тазобедренного сустава // Сибирское медицинское обозрение // 2024.– №2. – С.5–15.
30. Черноротов В.А., Баркетова Д.А., Андрияшек Ю.И. Оценка эффективности

медицинской реабилитации после эндопротезирования тазобедренного сустава по данной цифровой рентгенографии и УЗ-денситометрии // Таврический медико-биологический вестник. – 2018. – Т. 21. – №1. – С.153–157.

31. Шкалы, тесты и опросники в медицинской реабилитации: Рук. для врачей и науч. работников / ред. А. Н. Беловой, О. Н. Щепетовой. – Москва: Антидор, 2001. – 439 с.
32. Шпаков А. В. Воронов А. В., Артамонов А. А., Орлов Д.О., Пучкова А.А. Биомеханические характеристики ходьбы и бега при разгрузке опорно-двигательного аппарата человека методом вертикального вывешивания // Физиология человека. – 2021.– № 4, вып.47. – С.68–79.
33. Юсупов К.С., Барабаш Ю.А., Павленко Н.Н., Ромакина Н.А., Анисимова Е.А., Летов А.С., Сертакова А.В., Анисимов Д.И. Биомеханические показатели ортопедического статуса пациентов с диспластическим коксартрозом IV типа (Crowe) до и после лечения // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2017. – Т.13. – №3. – С.520–526.
34. Casartelli NC, Item-Glatthorn JF, Bizzini M, Leunig M, Maffiuletti NA. Differences in gait characteristics between total hip, knee, and ankle arthroplasty patients: a six-month postoperative comparison // BMC Musculoskeletal Disorders. – 2013. –P.14–176.
35. Domínguez-Navarro F, Igual-Camacho C, Silvestre-Muñoz A, Roig-Casasús S, Blasco JM. Effects of balance and proprioceptive training on total hip and knee replacement rehabilitation: A systematic review and meta-analysis // Gait Posture. – 2018. – № 62. – P.68–74.
36. Hutchison L, Grayson J, Hiller C, D'Souza N, Kobayashi S, Simic M. Relationship Between Knee Biomechanics and Pain in People with Knee Osteoarthritis: A Systematic Review and Meta-Analysis // Arthritis Care and Research (Hoboken). – 2023. – V.75(6). – P.1351–1361.
37. Bahl, J. S., Nelson, M. J., Taylor, M., Solomon, L. B., Arnold, J. B., Thewlis, D. Biomechanical changes and recovery of gait function after total hip arthroplasty for osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis // Osteoarthritis and Cartilage. – 2018. – V. 26(7). – P. 847–863.
38. Korkmaz İ, Korkmaz N, Koç SS, Bingöl O, Kılıç E, Ozdemir G, Toğral G. Do Different Approaches Make a Difference in Isokinetic Performance in Elderly Patients With Femoral Neck Fracture Who Underwent Bipolar Endoprosthesis? // Cureus. – 2023. – V.4. – No. 15(1). – e33362.
39. Labanca L, Ciardulli F, Bonsanto F, Sommella N, Di Martino A, Benedetti MG. Balance and proprioception impairment, assessment tools, and rehabilitation training in patients with total hip arthroplasty: a systematic review // BMC Musculoskelet Disord. – 2021. –No.22. –P.3–33.
40. Lequesne M. Indices of severity and disease activity for osteoarthritis // Seminars in Arthritis and Rheumatism. – 1991.– No 20. –V.6, 2. – P. 48 – 54.
41. Liebensteiner MC, Herten A, Gstoettner M, et al. Correlation between objective gait parameters and subjective score measurements before and after total knee arthroplasty // Knee. – 2008. –No15.–V.6.– P.461–466.
42. Motyl J.M., Driban J.B., McAdams E., McAlindon T.E. Reliability and sensitivity of the 20-meter walk test among patients with knee osteoarthritis // Osteoarthritis and Cartilage. – 2013. – V.21. – P.137 –139.
43. Salehi R, Valizadeh L, Negahban H, Karimi M, Goharpey S, Shahali S. The Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis, Lequesne Algofunctional index, Arthritis Impact Measurement Scale–short form, and Visual Analogue Scale in patients with knee osteoarthritis: responsiveness and minimal clinically important differences // Disability and Rehabilitation. – 2023. –45. – V.13.– P.2185–2191.
44. Stolarczyk A, Stolarczyk M, Oleksy Ł, Maciąg GJ, Stępiński P, Szymczak J, Świercz M,

Žarnovsky K, Mostowy M, Maciąg BM. Analysis of biomechanical gait parameters in patients after total hip replacement operated via anterolateral approach depending on size of the femoral head implant: retrospective matched-cohort study // Archives of orthopaedic and trauma surgery. – 2022.– No 142. – V.12. – P.4015–4023.

45. Valenzuela KA, Zhang S, Schroeder LE, Weinhandl JT, Reinbolt J, Zakrajsek R, Cates HE. Overground Walking Biomechanics of Dissatisfied Persons with Total Knee Replacements // Journal of Applied Biomechanics. – 2021. –1. – No37. – V.4. – P.365–372.

46. Wareńczak A, Lisiński P. Body balance a few years after total hip replacement // Acta of bioengineering and biomechanics. – 2020. – No22. – V. 1.– P.87–96.

47. Yates T, Henson J, McBride P, Maylor B, Herring LY, Sargeant JA, Davies MJ, Dempsey PC, Rowlands AV, Edwardson CL. Moderate-intensity stepping in older adults: insights from treadmill walking and daily living // The international journal of behavioral nutrition and physical activity. – 2023. – No18. – P.20:31.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Шкала комитета медицинских исследований (MRC)

Балл	Объем движений
5	Мышечная сила сохранна (исследователь не может согнуть/разогнуть конечность)
4	Мышечная сила снижена, но сокращается достаточно, объем движений в суставе полный (активное движение возможно с сопротивлением силы исследователя)
3	Средняя степень снижения мышечной силы (не может преодолеть дополнительную нагрузку, оказываемую исследователем)
2	Выраженная слабость в мышце (объем движений полный, если нет действия гравитации, против гравитации – объем движений неполный, не оказывает сопротивления исследователю)
1	Выраженная слабость (незначительные движения в мышце)
0	Плегия (нет движений в мышце)

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Шкала оценки динамики активности в повседневной жизни Лекена

БОЛЬ ИЛИ ДИСКОМФОРТ

Параметр	Определение	Баллы
1. Боль или дискомфорт во время ночного отдыха	Нет	0
	Только при движении или в определенных положениях	1
	Без движения	2
2. Продолжительность утренней скованности или боли после вставания	Нет	0
	Менее 15 минут	1
	Больше или равно 15 минутам	2
3. Продолжительное стояние в течение 30 минут усиливает боль	Нет	0
	Да	1
4. Боль при ходьбе	Нет	0
	Только через какое-то время	1
	«Стартовая» боль	2
5. Боль или дискомфорт в положении сидя в течение двух часов	Нет	0
	Да	1

МАКСИМАЛЬНАЯ ДИСТАНЦИЯ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ

Параметр	Определение	Баллы
1. Максимальная дистанция передвижения	Не ограничена	0
	Более 1 км, но ограничена	1
	Около 1 км (15 минут)	2
	Около 500–900 м (8–15 минут)	3
	От 300 до 500 м	4
	От 100 до 300 м	5
	Менее 100 м	6
2. Дополнительные средства опоры	Нет	0
	Одна трость опорная или костыль	1
	Две трости опорные или костыли	2

ПОВСЕДНЕВНАЯ АКТИВНОСТЬ

Параметр	Определение	Баллы
1. Можете ли Вы надеть носки, наклонившись вперед?	Легко	0
	С небольшим трудом	0,5
	С трудом	1
	С большим трудом	1,5

	Невозможно	2
2. Можете ли Вы поднять предмет с пола?	Легко	0
	С небольшим трудом	0,5
	С трудом	1
	С большим трудом	1,5
	Невозможно	2
3. Можете ли Вы преодолеть вверх или вниз обычный пролет лестницы?	Легко	0
	С небольшим трудом	0,5
	С трудом	1
	С большим трудом	1,5
	Невозможно	2
4. Можете ли Вы сесть или выйти из автомобиля?	Легко	0
	С небольшим трудом	0,5
	С трудом	1
	С большим трудом	1,5
	Невозможно	2

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Шкала оценки коленного сустава – Oxford Knee Score (OKS) (2023)

Пожалуйста, ответьте на вопросы, основываясь на ощущениях за последние 4 недели. Отметьте галочкой выбранный вами ответ

1. Как бы Вы описали боли в колене, которые Вы обычно испытываете?				
4	3	2	1	0
Нет болей	Очень легкие	Легкие	Умеренные	Сильные
2. Беспokoили ли Вас боли в коленях (колене) по ночам в постели?				
4	3	2	1	0
Ни одну ночь	Только одну или две ночи	Некоторые ночи	Большинство ночей	Каждую ночь
3. Можете ли Вы спуститься на колени и встать после этого?				
4	3	2	1	0
Легко	Немного трудно	Трудно	Очень трудно	Совсем не могу
4. Хромаете ли Вы из-за колена?				
4	3	2	1	0
Редко/ или ни разу	Иногда или только при начале ходьбы	Часто, не только в начале ходьбы	Почти всегда	Всегда
5. Как долго Вы можете пройти пешком, пока боль в колене не станет сильной?				
4	3	2	1	0
30 минут и больше	От 16 до 30 минут	От 5 до 15 минут ходьбы	Хожу только по дому	Совсем не могу ходить или хожу только по комнате
6. Можете ли Вы спуститься на один лестничный пролет?				
4	3	2	1	0
Да, легко	Немного трудно	Трудно	Очень трудно	Нет, совсем не могу
7. Возникало ли у Вас ощущение, что колено выскальзывает, или Вы даже вынуждены были присесть из-за неуверенного, непослушного поведения коленного сустава?				
4	3	2	1	0
Редко или никогда	Иногда или только при первых шагах	Часто, не только при первых шагах	Почти всегда	Всегда
8. После того, как Вы посидели за столом, насколько сложно и больно Вам вставать со стула?				
4	3	2	1	0
Совсем не сложно	Немного больно	Умеренно больно	Очень больно	Невыносимая боль
9. Насколько сложно Вам выходить из автомобиля или автобуса?				
4	3	2	1	0
Совсем	Небольшие	Умеренные	Очень трудно	Невозмож

несложно	сложности	сложности		но
10. Возникают ли у Вас сложности при мытье в душе или вытирании полотенцем?				
4	3	2	1	0
Никогда	Небольшие трудности	Умеренные трудности	Очень трудно	Невозможно
11. Могли ли Вы самостоятельно купить и принести необходимые вещи домой (продукты и прочее на 1–2 дня)?				
4	3	2	1	0
Да, легко	Немного трудно	Трудно	Очень тяжело	Нет, не могу
12. Как часто боль мешала Вам работать (включая работу по дому)?				
4	3	2	1	0
Совсем не мешает	Немного мешает	Мешает	Сильно мешает	Беспокоит всегда, и я не могу делать многие вещи по работе