



Особенности биомеханики ходьбы пациентов в раннем восстановительном периоде после эндопротезирования тазобедренного сустава

Сомов Д.А.*, Макарова М.Р., Майоров Е.А., Турова Е.А., Лямина Н.П.

ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины им. С.И. Спасокукоцкого» Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Распространение тотального эндопротезирования тазобедренных суставов (ТЭТС) предъявляет высокие требования к восстановлению нормального стереотипа ходьбы, что является одной из ключевых целей реабилитации.

ЦЕЛЬ. Определение ключевых параметров ходьбы пациентов после ТЭТС для оценки эффективности восстановления физиологического паттерна походки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Проведено контролируемое проспективное исследование, основная группа — 23 пациента (11 мужчин, 12 женщин, возраст — от 41 до 75 лет, средний — $63,9 \pm 9,4$ года), на II этапе медицинской реабилитации в первые 8 недель после планового проведения ТЭТС, передвигавшиеся со средствами дополнительной опоры; контрольная группа — 27 здоровых участников (12 мужчин, 15 женщин, возраст — от 42 до 73 лет, средний — $60,9 \pm 9,9$ года). Пространственно-временные и кинематические параметры ходьбы регистрировали до и после курса реабилитации на диагностическом комплексе с тремя сенсорами. Для каждой ноги регистрировались пространственно-временные и кинематические параметры биомеханики ходьбы.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Все пространственно-временные параметры ходьбы и движения таза в сагиттальной плоскости пациентов основной группы до курса реабилитации достоверно отличаются от тех же параметров у здоровых людей. После курса реабилитации изучаемые параметры ходьбы приближаются к физиологическим значениям. Наиболее выраженная асимметрия отмечается по параметру одиночной опоры и достигает 16 % в начале курса, снижаясь до 10 % в конце; сагиттальные колебания таза в 2 раза превышают физиологическую норму в начале курса, без значимых изменений в динамике.

ОБСУЖДЕНИЕ. Нарушения паттерна ходьбы отмечаются у большинства пациентов, перенесших ТЭТС. Симметрия шага — один из значимых параметров ходьбы, по которому проводится первичная глобальная оценка ее качества. Асимметрия фазы одиночной опоры конечностей является закономерным развитием компенсаторных двигательных реакций после эндопротезирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Параметры биомеханики «частота шага» и «цикл шага» быстро изменяются после курса реабилитации и могут применяться для оценки локомоторной активности пациентов при проведении коротких курсов медицинской реабилитации в раннем восстановительном периоде. Показатели периодов опоры и переноса, их симметричность изменяются значительно медленнее, могут служить критериями оценки эффективности проводимых мероприятий на этапах реабилитации в динамике восстановления ходьбы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: эндопротезирование, тазобедренный сустав, биомеханика, ходьба, реабилитация.

Для цитирования / For citation: 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):38-46. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-4-38-46> [Somov D.A., Makarova M.R., Maiorov E.A., Turova E.A., Lyamina N.P. Analysis of Biomechanical Gait Parameters in Patients after Total Hip Replacement in the Early Recovery Period. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2024; 23(4):38-46. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-4-38-46> (In Russ.).]

* **Для корреспонденции:** Сомов Дмитрий Алексеевич, E-mail: nauka-org@mail.ru, docsomov@bk.ru, somovda@zdrav.mos.ru

Статья получена: 09.04.2024
Статья принята к печати: 06.06.2024
Статья опубликована: 16.08.2024

Analysis of Biomechanical Gait Parameters in Patients after Total Hip Replacement in the Early Recovery Period

 Dmitry A. Somov*,  Marina R. Makarova,  Egor A. Maiorov,  Elena A. Turova,  Nadezhda P. Lyamina

S.I. Spasokukotsky Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine of Moscow Healthcare Department, Moscow, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. The widespread use of total hip arthroplasty (THA) places high demands on the restoration of a normal gait pattern and is one of the key goals of rehabilitation.

AIM. Determination of key parameters of walking in patients after THA to assess the effectiveness of restoration of the physiological gait pattern.

MATERIALS AND METHODS. In a control prospective study, the main group consisted of 23 patients (11 men, 12 women, aged from 41 to 75 years, mean age 63.9 ± 9.4 years), who in the first 8 weeks after planned THA, moved with the help of assistive devices: supports (two crutches or walkers) who underwent stage II of medical rehabilitation; control group — 27 healthy people (12 men and 15 women, aged from 42 to 73 years, average age 60.9 ± 9.9 years). Spatiotemporal and kinematic gait parameters were recorded before and after the rehabilitation course using a gait simulator with biofeedback equipped with three sensors. For each leg, spatiotemporal and kinematic biomechanical parameters were separately recorded.

RESULTS. All spatiotemporal gait parameters on both limbs and pelvic mobility in the sagittal plane in patients in the early recovery period after THA before the start of the rehabilitation course are significantly different from healthy people. After a course of rehabilitation, the studied gait parameters approach physiological values. The main asymmetry is observed in the single support phase from 16 % at the beginning of the course, to 10 % at the end; sagittal pelvic mobility are 2 times higher than the physiological normal meaning at the beginning of the course, without significant changes in dynamics.

DISCUSSION. Disturbances in the gait pattern are observed in the majority of patients undergoing THA. Step symmetry is one of the significant parameters of walking, according to which the primary global assessment of its quality is carried out. Asymmetry of the single support phase of the limbs is a natural development of compensatory motor reactions after endoprosthetics.

CONCLUSION. The gait parameters "step frequency" and "step cycle" quickly change after a course of rehabilitation and can be used to assess the locomotor activity of patients during short courses of medical rehabilitation in the early recovery period. Indicators of stance and swing phases, their symmetry changes much more slowly, can serve as criteria for assessing the effectiveness of measures taken at the stages of rehabilitation in the dynamics of gait restoration.

KEYWORDS: replacement, hip joint, biomechanics, gait, rehabilitation.

For citation: Somov D.A., Makarova M.R., Maiorov E.A., Turova E.A., Lyamina N.P. Analysis of Biomechanical Gait Parameters in Patients after Total Hip Replacement in the Early Recovery Period. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2024; 23(4):38-46. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-4-38-46> (In Russ.).

* **For correspondence:** Dmitry A. Somov, E-mail: nauka-org@mail.ru, docsomov@bk.ru, somovda@zdrav.mos.ru

Received: 09.04.2024

Accepted: 06.06.2024

Published: 16.08.2024

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время эндопротезирование тазобедренного сустава, первичное и ревизионное, является широко распространенным хирургическим лечением пациентов с заболеваниями и травмами тазобедренного сустава, поэтому восстановление нормального стереотипа ходьбы является ключевой целью реабилитации, обеспечивая возобновление социально-бытовой активности и позволяя пациентам участвовать во многих сферах жизнедеятельности [1–3].

Интерес к исследованию параметров походки обусловлен возможностью сравнить паттерн ходьбы пациента с физиологической нормой и рекомендовать пути коррекции выявленных патологических нарушений [4, 5].

Для оценки параметров походки были предложены диагностические программно-аппаратные комплексы, включающие в себя различные типы сенсоров, сочетающих в одном корпусе акселерометры, гироскопы и магнитометры. Результаты измерений параметров ходьбы,

записанные с использованием таких комплексов, характеризуются от умеренной до высокой степенью надежности и высокой воспроизводимостью у здоровых лиц и у пациентов после ТЭТС [6, 7].

Как следует из отечественных и зарубежных источников литературы, исследование биомеханики ходьбы у пациентов с эндопротезом тазобедренного сустава проводится после восстановления ходьбы с полной опорой на оперированную ногу [8, 9]. При этом рассматривается большое количество пространственно-временных показателей, из которых наиболее часто учитываются следующие: цикл шага, длительность цикла шага (в секундах), частота шага (в шагах в минуту), период опоры, одиночная опора, двойная опора, первая двойная опора, вторая двойная опора, начало второй двойной опоры, период переноса, а также кинематические характеристики ходьбы: амплитуда переднего и заднего наклона таза, боковые наклоны и вращение таза, высота подъема стопы, циркумдукция нижней конечности [9, 10].

Исследований, посвященных изучению походки с дополнительной опорой на костыли или ходунки при неполной опоре на оперированную ногу в ранний восстановительный период после эндопротезирования, значительно меньше. Авторы приводят различные наборы параметров биомеханики для оценки исходного функционального статуса пациентов и эффективности реабилитации. Независимо от методики регистрации биомеханики ходьбы для оценки функционального статуса пациентов после эндопротезирования все авторы применяют параметр «скорость ходьбы» [11–13].

Наряду с этим Wang C. et al. (2022) в своей работе оценивали параметры длину шага, темп, частоту ходьбы и период опоры на оперированную конечность [11]; а Nelms N.J. et al. (2020) использовали длину шага, частоту шагов и смещение проекции общего центра масс [12]. Kurihara Y. et al. (2022) считают необходимым включать в исследование ходьбы у больных после ТЭТС амплитуду сгибания в тазобедренном и коленном суставах [13].

Все это указывает на то, что выбор биомеханических критериев, анализ которых позволит на основании динамики восстановления физиологического паттерна походки оперативно вносить необходимые коррективы в программы двигательной реабилитации, остается актуальным.

ЦЕЛЬ

Определение ключевых параметров биомеханики ходьбы в раннем восстановительном периоде реабилитации пациентов после тотального эндопротезирования тазобедренного сустава для оценки эффективности восстановления физиологического паттерна походки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования: проведено контролируемое проспективное исследование.

Критерии включения

1. Пациенты обоих полов в возрасте от 40 до 80 лет с дегенеративными изменениями тазобедренного сустава в первые 8 недель после планового проведения тотального эндопротезирования тазобедренного сустава, передвигавшиеся при помощи средств дополнительной опоры (два костыля или ходунки), без осложнений в течение раннего послеоперационного периода, без противопоказаний к проведению курса медицинской реабилитации со стороны сопутствующих заболеваний.

2. Практически здоровые люди.

Критерии невключения

Наличие болевого синдрома более 6 баллов по визуальной аналоговой шкале боли (ВАШ) в движении, системные заболевания и травмы опорно-двигательного аппарата, нарушающие функционирование пациента, сопутствующие неврологические заболевания независимо от характера и локализации, соматическая патология в стадии декомпенсации. Предварительно все пациенты были проинформированы о ходе предстоящего исследования и подписали информированное согласие на участие в соответствии с Хельсинкской декларацией (2013 г.).

Группы участников, база и методы исследования

Участники исследования были разделены на основную и контрольную группы. Основную группу составили 23 пациента (11 мужчин, 12 женщин в возрасте от 41 до 75 лет (средний возраст — 63,9 ± 9,4 года), прошедшие II этап медицинской реабилитации на базе филиала № 3 Государственного автономного учреждения здравоохранения города Москвы «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины» Департамента здравоохранения города Москвы (с 08.02.2024 — Государственное автономное учреждение здравоохранения города Москвы «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины им. С.И. Спасокукоцкого» Департамента здравоохранения города Москвы) по разработанной в нашем центре программе спустя 3,2 ± 1,1 недели после ТЭТС. В контрольной группе было обследовано 27 здоровых участников (12 мужчин и 15 женщин в возрасте от 42 до 73 лет, средний возраст — 60,9 ± 9,9 года). Основная и контрольная группы были сопоставимы по полу и возрасту.

У всех пациентов до и после окончания стационарного этапа медицинской реабилитации оценивали выраженность болевого синдрома по ВАШ боли от 0 до 10 баллов [14–16]. Регистрация параметров ходьбы проводилась с помощью тренажера ходьбы с биологической обратной связью (БОС) «Стэдис» (ООО «Нейрософт», Россия) в комплектации с тремя сенсорами (2 сенсора на наружной поверхности нижней трети голени над латеральной лодыжкой и 1 сенсор в области пояснично-крестцового перехода). Для каждой ноги отдельно регистрировались пространственно-временные параметры биомеханики — цикл шага (секунды), длительность правого и левого шага (секунды), частота шага (шагов в минуту), период опоры (%), период двойной опоры (%), период одиночной опоры (%), период первой двойной опоры (%), период второй двойной опоры (%), начало второй двойной опоры (%), период переноса (%), симметрия шага (%), кинематические параметры биомеханики ходьбы — колебания таза во всех плоскостях (градусы), подъем стопы (см).

Биомеханические параметры оперированной и неоперированной конечности сравнивались с усредненными параметрами здоровых лиц, в связи с отсутствием асимметрии параметров ходьбы между конечностями. Показатель симметрии рассчитывался для всех параметров ходьбы по универсальной формуле:

$$\text{Показатель симметрии (\%)} = 100 \times (N1 - N2) : N1,$$

где N1 — параметр оперированной ноги; N2 — параметр неоперированной ноги.

За нормальное отклонение симметрии параметров ходьбы принят диапазон от 0 до 6 % [10].

Все пациенты в течение двух недель проходили программу II этапа медицинской реабилитации, в том числе лечебную гимнастику и физиотерапевтические процедуры. В модифицированный комплекс лечебной гимнастики, наряду с общепринятыми статическими и динамическими упражнениями для укрепления антигравитационной

тационных мышц туловища, стабилизаторов таза, мышц бедра, для растягивания мышц задней поверхности бедра и голени, включались дыхательные статические и динамические упражнения (10 процедур по 30 минут каждая) [1].

Курс физиотерапевтических процедур состоял из низкоинтенсивной низкочастотной магнитотерапии и низкоинтенсивной лазеротерапии на область оперативного вмешательства с использованием матричного излучателя по стабильной методике (10 процедур), а также лечебного классического массажа обеих нижних конечностей и пояснично-крестцовой области (10 процедур).

Статистическая обработка и математический анализ полученных данных проведены с применением программного комплекса Statistica, версия 10 и Microsoft Excel, версия 2010 г. Сравнение зависимых групп осуществлялось с использованием *t*-критерия Стьюдента для зависимых и независимых выборок в случае нормального распределения (оценка нормальности проводилась по критерию Шапиро — Уилка) и критерия Вилкоксона в случае ненормального распределения. При ненормальном распределении сравнение независимых групп показателей осуществлялось с помощью критерия Манна — Уитни. За уровень статистической значимости принимали $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ биомеханики ходьбы у пациентов после ТЭТС, проведенный до курса медицинской реабилитации, показал достоверное отличие всех изучаемых временных, пространственных и кинематических параметров от таких же параметров, зарегистрированных у здоровых людей (табл. 1–3).

В раннем восстановительном периоде у пациентов после ТЭТС в условиях ходьбы на костылях с неполной опорой на оперированную ногу наиболее общие пространственно-временные параметры ходьбы — цикл шага, шаг и частота шага — достоверно ниже нормы до курса реабилитации. В динамике курса отмечены достоверные изменения их значений, приближаю-

щиеся к нормальным, но не достигающим последние (табл. 1).

У пациентов в раннем восстановительном периоде после эндопротезирования до курса реабилитации отмечается значительное возрастание времени периода опоры на обе конечности (табл. 2), увеличивается период двойной опоры циклов шага как оперированной, так и неоперированной ногой, возрастает период первой двойной опоры на оперированную ногу, период одиночной опоры оперированной конечности достоверно короче, а для неоперированной — практически не имеет значимых отличий от нормальных показателей, но существенно продолжительнее, чем оперированной; при этом период переноса резко короче, чем у здоровых лиц, а также значительно короче, чем оперированной ноги. После курса реабилитации показатели изучаемых периодов ходьбы приближаются к физиологическим значениям (табл. 2). В начале курса реабилитации наиболее выраженная асимметрия (16 %) определяется в показателях одиночной опоры между оперированной и неоперированной конечностями (до курса реабилитации) со снижением отличий до 10 % после курса, и периода переноса, составляющего 12 и 10 % до и после курса реабилитации соответственно (табл. 2).

Показатель высоты подъема стопы с обеих сторон и амплитуда боковых наклонов таза (во фронтальной плоскости) с обеих сторон до реабилитации были достоверно ниже физиологических значений. К концу курса реабилитации сохраняется достоверное снижение высоты подъема стопы обеих конечностей, тогда как амплитуда фронтальных сгибаний таза приближается к нормальным значениям (табл. 3). Амплитуда движения таза в сагиттальной плоскости (сгибание и разгибание) как до, так и после курса реабилитации у пациентов после ТЭТС существенно превышает физиологические параметры, без значимой динамики в ходе курса реабилитации (табл. 3). После проведения курса реабилитации отмечалось значительное снижение боли по ВАШ с $3,7 \pm 2,1$ балла до $1,9 \pm 1,3$ балла ($p < 0,05$).

Таблица 1. Временные параметры ходьбы у пациентов после ТЭТС ($n = 23$) и контрольной группы здоровых лиц ($n = 27$)

Table 1. Temporary gait parameters in patients after THA ($n = 23$) and a control group of healthy individuals ($n = 27$)

Параметр / Parameter	Реабилитационный курс / Rehabilitation course	Оперированная нога / Operated leg	Интактная нога / Non-operated leg	Контрольная группа / Control group
Цикл шага, с / Gait cycle, sec	До / Before	$1,6 \pm 0,4^*$	$1,6 \pm 0,4^*$	$1,2 \pm 0,1$
	После / After	$1,4 \pm 0,2^{*\&}$	$1,4 \pm 0,2^*$	
Шаг, с / Step, sec	До / Before	$0,9 \pm 0,3^{*\#}$	$0,7 \pm 0,1^*$	$0,6 \pm 0,1$
	После / After	$0,7 \pm 0,1^{*\&}$	$0,7 \pm 0,1^{*\&}$	
Частота шага, шаг/мин / Step frequency, steps per 1 minute	До / Before	$39,1 \pm 9,4^*$	$39,1 \pm 9,4^*$	$50,3 \pm 5,1$
	После / After	$43,9 \pm 7,6^{*\&}$	$43,9 \pm 7,6^{*\&}$	

Примечание: * — в сравнении со здоровыми; # — в сравнении с одноименным параметром контралатеральной стороны; & — в сравнении с одноименным параметром до реабилитации.

Note: * — compared with healthy; # — compared with the same parameter on the contralateral side; & — compared with the same parameter before rehabilitation.

Таблица 2. Периоды опоры и переноса у пациентов после ТЭТС ($n = 23$) и контрольной группы здоровых лиц ($n = 27$)
Table 2. Periods of support and transfer in patients after THA ($n = 23$) and a control group of healthy individuals ($n = 27$)

Параметр / Parameter	Реабилитационный курс / Rehabilitation course	Оперированная нога / Operated leg	Интakтная нога / Non-operated leg	Контрольная группа / Control group
Период опоры, % / Stance phase, %	До / Before	65,4 [62,8; 70,9] [#]	69,5 [67,5; 74,4]	64,1 [63,0; 66,1]
	После / After	64,6 [62,7; 68,9] ^{#&}	67,4 [65,6; 71,4] ^{*&#}	
Одиночная опора, % / Single Support phase, %	До / Before	31,1 [24,7; 33,0] ^{* #}	36,1 [30,4; 36,9]	36,1 [34,4; 36,9]
	После / After	32,8 [29,1; 34,7] ^{*&#}	35,8 [31,4; 37,1] ^{&#}	
Первая двойная опора, % / First Double Support, %	До / Before	17,1 [14,6; 18,3] [*]	16,5 [13,1; 21,1]	14,2 [13,2; 16,0]
	После / After	16,0 [14,7; 18,7] [*]	14,8 [13,0; 20,2] ^{&}	
Вторая двойная опора, % / Second Double Support, %	До / Before	16,4 [13,4; 21,2]	17,2 [14,8; 18,6] [*]	14,2 [13,1; 16,1]
	После / After	14,8 [12,7; 19,9] ^{&}	16,0 [14,9; 19,0] [*]	
Двойная опора, % / Double Support phase, %	До / Before	33,9 [30,9; 41,6] ^{* #}	34,1 [31,1; 42,2] [*]	28,4 [26,1; 31,8]
	После / After	30,2 [28,6; 36,0] ^{&}	30,5 [28,7; 36,3] ^{*&}	
Период переноса, % / Swing phase, %	До / Before	34,6 [29,1; 37,2] [#]	30,5 [25,6; 32,5] [*]	35,9 [33,9; 37,1]
	После / After	35,4 [31,1; 37,3] ^{&#}	32,6 [28,6; 34,4] ^{*&#}	

Примечание: * — в сравнении со здоровыми; # — в сравнении с одноименным параметром контралатеральной стороны; & — в сравнении с одноименным параметром до реабилитации.

Note: * — compared with healthy; # — compared with the same parameter on the contralateral side; & — compared with the same parameter before rehabilitation.

Таблица 3. Кинематические параметры ходьбы у пациентов после ТЭТС ($n = 23$) и контрольной группы здоровых лиц ($n = 27$)
Table 3. Kinematic gait parameters in patients after THA ($n = 23$) and a control group of healthy individuals ($n = 27$)

Параметр / Parameter	Реабилитационный курс / Rehabilitation course	Оперированная нога / Operated leg	Интakтная нога / Non-operated leg	Контрольная группа / Control group
Высота подъема стопы, см / Foot clearance, cm	До / Before	9,9 ± 2,6 ^{*#}	10,9 ± 2,3 ^{**}	13,1 ± 1,9
	После / After	10,9 ± 2,3 ^{*#}	12,1 ± 2,3 [*]	
Амплитуда сгибания / разгибания таза в сагиттальной плоскости (градусы) / Pelvic flexion/extension Amplitude in the sagittal plane (degrees)	До / Before	7,9 ± 3,9 [*]	8,0 ± 3,8 [*]	3,8 ± 1,8
	После / After	7,3 ± 3,0 [*]	7,0 ± 3,3 [*]	
Амплитуда фронтальных сгибаний таза (градусы) / Pelvic lateroflexion amplitude (degrees)	До / Before	4,1 ± 1,5 [*]	4,2 ± 1,7 [*]	5,1 ± 2,5
	После / After	4,8 ± 1,9	5,0 ± 1,7	

Примечание: * — в сравнении со здоровыми; # — в сравнении с одноименным параметром контралатеральной стороны; & — в сравнении с одноименным параметром до реабилитации.

Note: * — compared with healthy; # — compared with the same parameter on the contralateral side; & — compared with the same parameter before rehabilitation.

ОБСУЖДЕНИЕ

Нарушение биомеханики при дегенеративных заболеваниях суставов нижних конечностей формируется постепенно, задолго до проведения операции по их замене, и в начальных стадиях носит компенсаторный характер. В результате эндопротезирования восстановление ходьбы во многом зависит от степени функциональной недостаточности работающих мышц [17]. Дополнительные изменения двигательного стереотипа походки у пациентов в раннем восстановительном периоде после ТЭТС привносит использование дополнительной опоры на костыли или ходунки и разгрузка оперированной конечности.

Как показано в нашем исследовании, перед проведением курса медицинской реабилитации II этапа отмечается достоверное увеличение продолжительности цикла шага обеих конечностей и уменьшение частоты шага, которые косвенно указывают на замедление ходьбы. Приближение к нормальным значениям цикла шага, шага, частоты шага после курса реабилитации отражает способность пациентов увеличивать скорость комфортной ходьбы, при одновременно сохраняющейся более низкой, по сравнению с нормой, частотой шага.

Нарушения паттерна ходьбы присутствуют у большинства пациентов, перенесших ТЭТС, сопровождаясь снижением скорости ходьбы в течение длительного времени [8, 18].

Период опоры — наиболее активный элемент в структуре шага, включает в себя два периода двойной опоры, зависящих от активности обеих конечностей, и период одиночной опоры — единственный интервал изолированной функции одной конечности [10]. В раннем восстановительном периоде после эндопротезирования отмечается значительное возрастание времени периода опоры на обе конечности, в большей степени на неоперированную ногу, что объяснимо для ходьбы на костылях с дозированной опорой на оперированную ногу. Увеличивается период двойной опоры для обеих ног, возрастает период первой двойной опоры на оперированную ногу. Период одиночной опоры становится достоверно менее продолжительным для оперированной ноги, с сохранением нормального времени одиночной опоры на неоперированную ногу. Период одиночной опоры является наиболее сложным для пациента на данном этапе реабилитации, несмотря на костыли, и, по нашему мнению, может служить одним из индикаторов функционального состояния опоры и баланса.

Период переноса равен периоду одиночной опоры противоположной ноги. Данный параметр вторичен по отношению к периоду опоры, т. е. длительность периода переноса контралатеральной конечности зависит от устойчивости опоры на оперированную ногу.

Период переноса оперированной ноги до курса реабилитации не имеет достоверных отличий от нормы. Таким образом, цикл шага оперированной конечности имеет структуру, близкую к нормальной, что, в свою очередь, обуславливает максимальные отличия от нормальных значений на здоровой стороне, а интактная конечность обеспечивает компенсаторную реакцию и предоставляет оперированной конечности оптимальный (близкий к нормальному) режим функ-

ционирования. Такой механизм компенсации носит название «правило предоставления оптимума» [10]. Для неоперированной конечности шаговые реакции разворачиваются иначе: период одиночной опоры до проведения курса реабилитации практически не имеет достоверных отличий от нормальных показателей, но достоверно продолжительнее, чем оперированной конечности; при этом период переноса резко короче, чем у здоровых лиц, а также достоверно короче, чем у оперированной ноги. Таким образом, здоровая нога обеспечивает преимущественно опору (насколько позволяет функциональное состояние пациента), а больная — преимущественно функцию переноса, что в литературе [10] описывается как правило перераспределения функций. Это, в свою очередь, подтверждает физиологические особенности работы компенсаторных механизмов и может применяться для оценки динамики функционального состояния пациента. Очевидно, что для оценки динамики параметров ходьбы у пациентов после ТЭТС на II этапе медицинской реабилитации следует ориентироваться на параметры биомеханики не только оперированной, но и интактной нижней конечности, с учетом проявления адаптации к изменившимся условиям ходьбы.

Симметрия шага — один из значимых параметров оценки ходьбы. Именно по этому показателю происходит первичная глобальная оценка качества локомоции [10]. Одним из возможных вариантов оценки симметрии шага является определение соотношения продолжительности одиночной опоры обеих конечностей в процентах. В норме шаги всегда асимметричны. Степень асимметрии может быть разной и может существенно меняться при различных патологиях опорно-двигательного аппарата. Максимальное значение физиологической асимметрии может достигать 6 % без каких-либо выявленных причин [10]. Асимметрия шага у пациентов после ТЭТС выходит за рамки физиологической нормы, по нашим данным, соотношение одиночной опоры между нижними конечностями варьировало от 16 % в начале курса реабилитации до 10 % ($p < 0,05$) в конце.

Учет кинематических параметров (высота подъема стопы, амплитуда переднего и заднего наклона таза (в сагиттальной плоскости), амплитуда боковых наклонов таза во фронтальной) дает возможность оценить выраженность компенсаторных реакций на более высоком уровне опорно-двигательного аппарата [10, 19].

Достоверные отличия от физиологических значений высоты подъема стопы обеих ног до и после курса реабилитации свидетельствуют о значительных перестройках биомеханики, формировании семенящей походки, требующих значительного времени для восстановления. Амплитуда фронтальных сгибаний (боковых наклонов таза) у перенесших ТЭТС была достоверно ниже физиологических значений до курса реабилитации и восстанавливалась к концу курса реабилитации. Амплитуда движения таза в сагиттальной плоскости (сгибание и разгибание) как до, так и после курса реабилитации у пациентов после ТЭТС существенно больше, чем в группе контроля, а динамика изменений данного параметра в ходе курса реабилитации статистически не достоверна. Это свидетельствует о компенсаторных реакциях таза и пояснично-крестцового отдела позво-

ночника на ограничение движения в тазобедренном суставе. Увеличение амплитуды движений таза в сагиттальной плоскости у пациентов, перенесших ТЭТС, отмечается также в работах других авторов [20–22], так как кинематические изменения в области таза оказывают существенное влияние на переднюю часть протезированной вертлужной впадины при ТЭТС [20].

В качестве ключевых параметров ходьбы, по нашему мнению, целесообразно выделить длительность и частоту шага, одиночную опору и период переноса, так как значения этих показателей после курса реабилитации сохраняют значимые отличия от аналогичных показателей здоровых лиц, следовательно, тяжелее корректируются. К ограничению исследования можно отнести малый размер выборки пациентов, который не позволил выявить возрастные закономерности восстановления ходьбы.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Сомов Дмитрий Алексеевич, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник отдела медицинской реабилитации, ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины им. С.И. Спасокукоцкого» Департамента здравоохранения города Москвы.

E-mail: nauka-org@mail.ru, docsomov@bk.ru, somovda@zdrav.mos.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3245-167X>

Макарова Марина Ростиславовна, кандидат медицинских наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела медицинской реабилитации, ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины им. С.И. Спасокукоцкого» Департамента здравоохранения города Москвы.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1787-7015>

Майоров Егор Андреевич, младший научный сотрудник отдела медицинской реабилитации, ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины им. С.И. Спасокукоцкого» Департамента здравоохранения города Москвы.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6754-5214>

Турова Елена Арнольдовна, доктор медицинских наук, профессор, заместитель директора по научной работе, ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины им. С.И. Спасокукоцкого» Департамента здравоохранения города Москвы.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4397-3270>

Лямина Надежда Павловна, доктор медицинских наук, профессор, руководитель отдела медицинской реабилитации, ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины им. С.И. Спасокукоцкого» Департамента здравоохранения города Москвы.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6939-3234>

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов нашего исследования показал, что параметры биомеханики «цикл шага» и «частота шага» изменяются быстро, в течение 14 дней курса реабилитации, и могут применяться для оценки локомоторной активности пациентов в раннем восстановительном периоде. Показатели биомеханики ходьбы, такие как период опоры и период переноса, симметричность шага, изменяются значительно медленнее, в связи с большей зависимостью от локального статуса, и могут служить критериями оценки эффективности проводимых мероприятий на этапах реабилитации в динамике восстановления ходьбы. Для оценки динамики параметров ходьбы у пациентов после ТЭТС на II этапе медицинской реабилитации следует ориентироваться на параметры биомеханики обеих нижних конечностей, учитывая особенность адаптации к изменившимся условиям ходьбы.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают свое авторство в соответствии с международными критериями ICMJE (все авторы внесли значительный вклад в концепцию, дизайн исследования и подготовку статьи, прочитали и одобрили окончательный вариант до публикации). Наибольший вклад распределен следующим образом: Сомов Д.А. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материалов, анализ полученных данных, написание текста; Макарова М.Р. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материалов, анализ полученных данных, написание текста; Майоров Е.А. — сбор и обработка материалов; Турова Е.А. — организация процесса исследования, редакция текста; Лямина Н.П. — методическая помощь в подготовке материалов, редакция текста.

Источники финансирования. Данное исследование не было поддержано никакими внешними источниками финансирования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическое утверждение. Авторы заявляют, что все процедуры, использованные в данной статье, соответствуют этическим стандартам учреждений, проводивших исследование, и соответствуют Хельсинкской декларации в редакции 2013 г. Проведение научно-исследовательской работы одобрено на заседании локального этического комитета ГАУЗ МНПЦ МРВСМ им. С.И. Спасокукоцкого ДЗМ (выписка из протокола заседания локального этического комитета № 6, 24.05.2023).

Доступ к данным. Данные, подтверждающие выводы этого исследования, можно получить по обоснованному запросу у корреспондирующего автора.

Благодарности. Авторы выражают свою признательность заведующему филиалом № 3 ГАУЗ МНПЦ МРВСМ им. С.И. Спасокукоцкого ДЗМ, Россия, М.С. Филиппову за помощь в организации процесса сбора материала, заместителю заведующего филиалом Е.В. Кольяк за содействие в проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Dmitrii A. Somov, Ph.D. (Med.), Senior Researcher at the Department of Medical Rehabilitation of S.I. Spasokukotsky Moscow Centre for Research and Practice in Medical

Rehabilitation, restorative and Sports Medicine of Moscow Healthcare Department.

E-mail: nauka-org@mail.ru, docsomov@bk.ru, somovda@zdrav.mos.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3245-167X>

Marina R. Makarova, Ph.D. (Med.), Leading Researcher at the Department of Medical Rehabilitation of Spasokukotsky MCRP MRRSM MHD.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1787-7015>

Egor A. Maiorov, Junior Researcher at the Department of Medical Rehabilitation of S.I. Spasokukotsky Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, restorative and Sports Medicine of Moscow Healthcare Department.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6754-5214>

Elena A. Turova, D.Sc. (Med.), Professor, Deputy Director for Research of S.I. Spasokukotsky Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, restorative and Sports Medicine of Moscow Healthcare Department.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4397-3270>

Nadezhda P. Lyamina, D.Sc. (Med.), Doctor Sciences in Medicine, Professor, Head of Medical Rehabilitation Department of S.I. Spasokukotsky Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, restorative and Sports Medicine of Moscow Healthcare Department.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6939-3234>

Author Contributions. All authors confirm their authorship in accordance with the international ICMJE criteria (all authors made significant contributions to the concept, study design and preparation of the article, read and approved the final version before publication). Special contribution: Somov D.A. — concept and design of the study, collection and processing of materials, analysis of the data obtained, writing the text; Makarova M.R. — concept and design of the

study, collection and processing of materials, analysis of the data obtained, writing the text; Mayorov E.A. — collection and processing of materials; Turova E.A. — organization of the research process, text editing; Lyamina N.P. — methodological assistance in preparing materials, editing text.

Funding. This study was not supported by any external funding sources.

Disclosure. The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Ethics Approval. The authors declare that all procedures used in this article are in accordance with the ethical standards of the institutions that conducted the study and are consistent with the 2013 Declaration of Helsinki. The research work was approved at a meeting of the local ethics committee of the State Autonomous Healthcare Institution of S.I. Spasokukotsky Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, restorative and Sports Medicine of Moscow Healthcare Department (Protocol No. 6 of the meeting of the local ethics committee dated 05.24.2023).

Data Access Statement. The data supporting the conclusions of this study are available upon reasonable request from the corresponding author.

Acknowledgments. The authors thank to the Head of Branch No. 3 of S.I. Spasokukotsky Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, restorative and Sports Medicine of Moscow Healthcare Department M.S. Filippov, for assistance in organizing the process of collecting material, Deputy Head of the Branch E.V. Kolyak for assistance in conducting the study.

Список литературы / References

1. Федеральные клинические рекомендации. Реабилитация при эндопротезировании тазобедренного сустава в специализированном отделении стационара. 2014. 34 с. [Federal'nye klinicheskie rekomendacii. Reabilitaciya pri endoprotezirovanii tazobedrennogo sustava v specializirovannom otdelenii stacionara. 2014. 34 p. (In Russ.)]
2. Шубняков И.И., Риахи А., Денисов А.О. и др. Основные тренды в эндопротезировании тазобедренного сустава на основании данных регистра артропластики НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена с 2007 по 2020 г. Травматология и ортопедия России. 2021; 27(3): 119–142. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2021-27-3-119-142> [Shubnyakov I.I., Riahi A., Denisov A.O., Korytkin A.A., Aliyev A.G., et al. [The Main Trends in Hip Arthroplasty Based on the Data in the Vreden's Arthroplasty Register from 2007 to 2020]. Traumatology and Orthopedics of Russia. 2021; 27(3): 119–142. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2021-27-3-119-142> (In Russ.)]
3. Середа А.П., Кочиш А.А., Черный А.А. и др. Эпидемиология эндопротезирования тазобедренного и коленного суставов и перипротезной инфекции в Российской Федерации. Травматология и ортопедия России. 2021; 27(3): 84–93. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2021-27-3-84-93> [Sereda A.P., Kochish A.A., Cherny A.A., et al. Epidemiology of Hip and Knee Arthroplasty and Periprosthetic Joint Infection in Russian Federation. Traumatology and Orthopedics of Russia. 2021; 27(3): 84–93. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2021-27-3-84-93> (In Russ.)]
4. Agarwal A., Miller S., Hadden W., et al. Comparison of gait kinematics in total and unicondylar knee replacement surgery. The Annals of The Royal College of Surgeons of England. 2019; 101(6): 391–398. <https://doi.org/10.1308/rcsann.2019.0016>
5. Biggs P.R., Whatling G.M., Wilson C., et al. Which osteoarthritic gait features recover following total knee replacement surgery? PLoS One. 2019; 14(1): e0203417. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203417>
6. Bravi M., Gallotta E., Morrone M., et al. Concurrent validity and intertrial reliability of a single inertial measurement unit for spatial-temporal gait parameter analysis in patients with recent total hip or total knee arthroplasty. Gait & Posture. 2020; 76: 175–181. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.12.014>
7. Kobsar D., Charlton J.M., Tse C.T.F., et al. Validity and reliability of wearable inertial sensors in healthy adult walking: a systematic review and meta-analysis. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation 2020; 17: 62. <https://doi.org/10.1186/s12984-020-00685-3>
8. Mendiolaogitia L., Rodríguez M.A., Crespo I., et al. Kinematic Gait Analysis after Primary Total Hip Replacement: A Systematic Review. Indian Journal of Orthopaedics. 2020; 54(6): 767–775. <https://doi.org/10.1007/s43465-020-00101-x>
9. Кирпичев И.В., Королева С.В., Усмани М.А. Исследование временных характеристик ходьбы у пациентов с коксартрозом. Физическая и реабилитационная медицина. 2023; 5(2): 65–71. <https://doi.org/10.26211/2658-4522-2023-5-2-65-71> [Kirpichev I.V., Koroleva S.V., Usmane M.A. Study of The Temporal Characteristics of Gaiting in Patients with Coxarthrosis. Physical and Rehabilitation Medicine. 2023; 5(2): 65–71. <https://doi.org/10.26211/2658-4522-2023-5-2-65-71> (In Russ.)]
10. Скворцов Д.В. Диагностика двигательной патологии инструментальными методами: анализ походки, стабилметрия. М.: Научно-медицинская фирма МБН, 2007. 640 с. [Skvortsov D.V. Diagnostika dvigatel'noj patologii instrumental'nymi metodami: analiz pohodki, stabilometriya. Moscow: Nauchno-medicinskaya firma MBN, 2007. 640 p. (In Russ.)]
11. Wang C., Zhang M., Zhou J., et al. Early gait changes after total hip arthroplasty through direct anterior approach and posterolateral approach. Chinese Journal of Tissue Engineering Research. 2022; 26 (3): 359–364. <https://doi.org/10.12307/2022.059>
12. Nelms N.J., Birch C.E., Halsey D. H., et al. Assessment of Early Gait Recovery After Anterior Approach Compared to Posterior Approach Total Hip Arthroplasty: A Smartphone Accelerometer-Based Study. The Journal of Arthroplasty. 2020; 35(2): 465–470. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2019.09.030>

13. Kurihara Y., Ohsugi H., Matsuda T., et al. Early postoperative relationship between patient-reported outcome measures and gait biomechanical factors after total hip arthroplasty. *Gait Posture*. 2022; 91: 14–18. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.10.003>
14. Амирджанова В.Н. Шкалы боли и HAQ в оценке пациента с ревматоидным артритом. *Научно-практическая ревматология*. 2006; 2: 60–65. [Amirdzhanova V.N. Pain rating scales and HAQ in assessment of a patient with rheumatoid arthritis. *Rheumatology Science and Practice*. 2006; 2: 60–65. (In Russ.)]
15. Бывальцев В.А., Белых Е.Г., Сороковиков В.А., Арсентьева Н.И. Использование шкал и анкет в вертебродологии. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2011; 111(9–2): 51–56. [Byval'cev V.A., Belyh E.G., Sorokovikov V.A., Arsent'eva N.I. The use of scales and questionnaires in vertebrology. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2011; 111(9–2): 51–56. (In Russ.)]
16. Williamson A., Hoggart B. Pain: a review of three commonly used pain rating scales. *Journal of Clinical Nursing*. 2005; 14(7): 798–804. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2702.2005.01121.x>
17. Domínguez-Navarro F., Igual-Camacho C., Silvestre-Muñoz A., et al. Effects of balance and proprioceptive training on total hip and knee replacement rehabilitation: A systematic review and meta-analysis. *Gait Posture*. 2018; 62: 68–74. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.03.003>
18. Kolk S., Minten M. J., van Bon G.E., et al. Gait and gait-related activities of daily living after total hip arthroplasty: a systematic review. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*. 2014; 29(6): 705–718. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2014.05.008>
19. Эрлз Д. Рожденный ходить. Миофасциальная эффективность: революция в понимании механики движения. Пер. с англ. К.С. Мищенко. М.: Эксмо, 2020. 200 с. [Erlz D. Rozhdennyj hodit'. Miofascial'naya effektivnost': revolyuciya v ponimanii mekhaniki dvizheniya. Perevod s anglijskogo K.S. Mishchenko. Moscow: Eksmo, 2020. 200 p. (In Russ.)]
20. Weber M., Suess F., Jerabek S.A., et al. Kinematic pelvic tilt during gait alters functional cup position in total hip arthroplasty. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*. 2022; 40(4): 846–853. <https://doi.org/10.1002/jor.25106>
21. Loppini M., Temporiti F., Furone R., et al. Static and dynamic pelvic kinematics after one-stage bilateral or unilateral total hip arthroplasty. *Hip International*. 2021; 31(6): 729–734. <https://doi.org/10.1177/1120700020921120>
22. Langley B., Whelton C., Page R., et al. Exploring pelvis and thigh movement and coordination patterns during walking in patients after total hip arthroplasty. *Gait Posture*. 2023; 103: 196–202. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2023.05.023>