

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab623651>

Использование многофункционального комплекса с биологической обратной связью в анализе стереотипа ходьбы у пациентов с гонартрозом

Н.С. Николаев^{1, 2}, Р.В. Петрова^{1, 2}, Е.В. Викторова¹, Е.В. Преображенская¹¹ Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования, Чебоксары, Россия;² Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Обоснование тактики лечения пациентов с гонартрозом требует применения современных методик оценки стереотипа ходьбы.

Цель исследования — оценить биомеханические и подометрические показатели походки пациентов с гонартрозом при помощи многофункционального комплекса C-Mill с системой биологической обратной связи.

Материалы и методы. В исследование включены 55 пациентов, разделённых на группы: первая, основная ($n=35$) — пациенты с нарушением походки и установленным по МКБ-10 диагнозом «Первичный гонартроз III–IV стадии с вальгусной деформацией оси конечности», подлежащие оперативному лечению в объёме тотального эндопротезирования коленного сустава; вторая, контрольная ($n=20$) — пациенты с диагнозом «Первичный гонартроз I стадии». Средний возраст пациентов основной группы — 58,7, контрольной — 47,5 года.

Результаты. Снижение средней скорости ходьбы в основной группе сопровождалось уменьшением длины шага, частоты шагов ($p < 0,05$). Период опоры, длина цикла шага обеими конечностями в основной группе превышали значения контрольной группы ($p < 0,05$), что свидетельствует об асимметрии походки и перераспределении траектории центра давления на контралатеральную нижнюю конечность, клинически проявляясь хромотой. Походка у лиц в основной группе характеризовалась уменьшением произвольной скорости, частоты шагов, изменением схемы походки в различных плоскостях, что подтверждает тяжёлые клинико-функциональные нарушения в нижней конечности.

Заключение. Исследование стереотипа ходьбы у пациентов на многофункциональном комплексе C-Mill с биологической обратной связью может быть использовано при обосновании тактики лечения с последующим составлением индивидуального плана медицинской реабилитации для восстановления функции нижней конечности в послеоперационном периоде, полноценного контроля динамики лечения, профилактики падений, улучшения качества жизни пациентов.

Ключевые слова: тотальное эндопротезирование коленного сустава; гонартроз; биологическая обратная связь; стереотип ходьбы; многофункциональный комплекс с биологической обратной связью.

Как цитировать:

Николаев Н.С., Петрова Р.В., Викторова Е.В., Преображенская Е.В. Использование многофункционального комплекса с биологической обратной связью в анализе стереотипа ходьбы у пациентов с гонартрозом // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2024. Т. 6, № 1. С. 16–26. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab623651>

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab623651>

Biofeedback training for the analysis of gait stereotypes in patients with gonarthrosis

Nikolay S. Nikolaev^{1,2}, Roza V. Petrova^{1,2}, Elena V. Viktorova¹, Elena V. Preobrazhenskaya¹¹ Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty, Cheboksary, Russia;² Chuvash State University, Cheboksary, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The justification of the treatment techniques for patients with gonarthrosis requires the use of modern methods for assessing walking stereotypes.

AIM: This study aimed to evaluate the biomechanical and podometric gait parameters of patients with gonarthrosis using the C-Mill multifunctional complex with biofeedback.

MATERIALS AND METHODS: The study included 55 patients who were divided into the following groups: main group ($n=35$) of patients who had gait disturbances, diagnosed with stage III–IV primary gonarthrosis with varus deformation of the limb axis according to ICD-10, and underwent total knee replacement and control group ($n=20$) of patients diagnosed with stage I primary gonarthrosis. The average age of patients was 58.7 years in the main group and 47.5 years in the control group.

RESULTS: In the main group, the decrease in average walking speed was accompanied by decreases in stride length and step frequency ($p < 0.05$). In the stance phase, which is characterized by the contact of the foot of the affected and contralateral lower extremities with the platform surface, the durations of the double stance phase of both extremities in the main group were longer than those in the control group ($p < 0.05$), indicating gait asymmetry and redistribution of excess load on the contralateral lower extremity, which is clinically manifested by lameness. In the main group, gait was characterized by a decrease in voluntary speed, step frequency, and gait pattern changes in various planes, confirming severe clinical and functional disorders in the lower limbs.

CONCLUSION: The study of the walking stereotype in patients using the C-Mill multifunctional complex with biofeedback can be used to substantiate treatment techniques, followed by drawing up an individual medical rehabilitation plan to restore lower limb functions in the postoperative period, fully monitor treatment dynamics, prevent falls, and improve the quality of life of patients.

Keywords: total knee replacement; gonathritis; biofeedback; walking stereotype; biofeedback.

To cite this article:

Nikolaev NS, Petrova RV, Viktorova EV, Preobrazhenskaya EV. Biofeedback training for the analysis of gait stereotypes in patients with gonarthrosis. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2024;6(1):16–26. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab623651>

Список сокращений

ВАШ — визуальная аналоговая шкала интенсивности боли

МКБ-10 — Международная статистическая классификация болезней и проблем, связанных со здоровьем, Десятого пересмотра

EQ-5D (European Quality of Life Instrument) — Европейский опросник оценки качества жизни

KSS1/KSS2 (Knee Society Score) — шкала оценки функции коленного сустава

ОБОСНОВАНИЕ

Согласно современным представлениям, гонартроз — заболевание коленного сустава (артроз, остеоартроз, остеоартрит) различной этиологии со сходными биологическими, морфологическими и клиническими проявлениями и исходом, в основе которых лежит поражение всех компонентов коленного сустава — хряща, субхондральной кости, менисков, синовиальной оболочки, связок, капсулы, мышц; образование костно-хрящевых разрастаний, проявляющееся болью, нарушением оси и потерей подвижности конечности. Гонартроз — одно из наиболее частых и тяжёлых проявлений хронических заболеваний суставов, которое становится причиной инвалидизации и утраты бытовой независимости.

В России гонартрозом страдает значительное число людей — 3646,3 на 100 тыс. взрослых, за год регистрируется более 600 первичных случаев на 100 тыс. взрослого населения. За последние 20 лет число больных гонартрозом увеличилось более чем в 2 раза, что, возможно, связано с увеличением продолжительности жизни населения и числа лиц с избыточной массой тела [1]. В клинических рекомендациях по гонартрозу отмечается высокая социально-экономическая значимость частоты его распространения в трудоспособном возрасте [2].

Факторы, способствующие развитию или прогрессированию гонартроза, — возраст, ожирение (при индексе массы тела >30 риск раннего гонартроза увеличивается втрое), малоподвижный образ жизни, любое нарушение нормальной биомеханики сустава врождённого или приобретённого характера [3].

Клиническими проявлениями гонартроза являются хронические боли, деформация, ограничение подвижности в суставах, слабость мышц нижних конечностей, затруднения при спуске/подъёме по лестнице, подъёме со стула, при приседаниях и ходьбе, приводящие к постральной неустойчивости и падениям. Нарушение походки часто ограничивает физическую активность и отрицательно влияет на качество жизни. С появлением хромоты возникает необходимость использования дополнительной опоры [4]. Наиболее часто назначаемое средство передвижения — трость — часто недогружено, следовательно, не может снизить нагрузку на коленный сустав и обеспечить симптоматическое облегчение [5].

Изменение походки при гонартрозе на фоне неправильной тактики лечения вызывает повышенную нагрузку на контралатеральный сустав (феномен перераспределения функций коленного сустава), ведёт к развитию в нём

клинико-функциональных нарушений, что в дальнейшем вызывает необходимость его эндопротезирования [6].

В современном мире сохранение мобильности является необходимой частью активного образа жизни. Длительный анамнез гонартроза и вследствие этого ограничение подвижности суставов из-за анатомических и функциональных нарушений и связанных с ними болевых ощущений может привести к нарушению стереотипа ходьбы [7].

Человеческая походка — это перемещение в пространстве с изменением высоты центра тяжести тела. В процессе ходьбы для поддержания и продвижения тела в разных фазах ходьбы участвуют мышцы нижних, верхних конечностей, спины. Основная функциональная единица ходьбы — цикл шага. Цикл шага начинается с контакта пятки с опорой, завершение происходит в период опоры. Кинематические параметры цикла шага, амплитуда представляются в виде графиков амплитуды движений таза, бедра и голени в трёх плоскостях [8, 9]. Во время ходьбы изучается рисунок перемещения проекции центра тяжести тела на плоскости опоры [10].

По данным российских и зарубежных авторов, для диагностики нарушений ходьбы используется эргометр C-Mill [11–13]. В последние годы опубликован ряд клинических исследований по использованию диагностического оборудования для оценки биомеханики ходьбы и понимания факторов, влияющих на механизмы восстановления походки до и после оперативных вмешательств, при прохождении комплекса реабилитационных мероприятий [11, 14].

Эффективным методом лечения при III стадии гонартроза, по Н.С. Косинской (1961) и Kellgren & Lawrence (1963) [15, 16], считается тотальное эндопротезирование коленного сустава [2, 11, 17–19]. Результатом проведения этой операции является стойкое снижение боли, улучшение функции коленного сустава, восстановление повседневной активности пациента [20].

Для принятия решения об эндопротезировании необходимо точное представление о функциональных характеристиках суставов конечностей и биомеханических параметрах ходьбы, которое не всегда возможно получить на основании традиционных клинико-диагностических методов исследования [21]. Обоснование тактики лечения пациентов с гонартрозом с решением вопроса о необходимости эндопротезирования коленного сустава требует применения современных методик оценки стереотипа ходьбы. Однако вопрос более широкого применения комплексов с биологической обратной связью в клинической практике остаётся открытым.

Цель исследования — оценить биомеханические и подометрические показатели походки пациентов с гонартрозом перед операцией тотального эндопротезирования коленного сустава при помощи комплекса с биологической обратной связью для определения тактики ведения в послеоперационном периоде.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Ретроспективное простое слепое сравнительное исследование выполнено на базе ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России (Чебоксары). Глубина исследования — 31 месяц (январь 2021 – август 2023 года).

Критерии соответствия

Критерии включения: любой пол; возраст от 45 лет до 71 года; подтверждённый диагноз «Первичный гонартроз».

Критерии не включения: повреждение связочного аппарата коленного сустава; предшествующие операции в объёме артроскопической резекции мениска в пределах повреждённых тканей; нарушения мозгового кровообращения; психические заболевания; когнитивные нарушения; последствия черепно-мозговых травм; хронические заболевания в стадии декомпенсации; неврологическая патология (центральные и периферические парезы и параличи); выраженная патология сердечно-сосудистой системы; воспалительные заболевания в острой фазе.

Критерии исключения: отказ пациента от участия в исследовании на любой его стадии.

Методы регистрации исходов

Всем пациентам проведены клинический осмотр с выявлением жалоб, анамнеза жизни и заболевания; оценка функций сустава с использованием диагностических инструментов. Тестирование уровня болевых ощущений проводилось по визуальной аналоговой шкале интенсивности боли (ВАШ) при физической активности и в покое. Для оценки функции подвижности коленного сустава использовали метод гониометрии. Основной функциональной шкалой при исследовании была шкала коленных и функциональных баллов Knee Society Score (KSS1 и KSS2), описывающая характеристики боли, наличие стабильности в суставе, контрактур, потенциал ходьбы на различные расстояния, возможности спуска/подъёма по лестнице, использование дополнительной опоры. Для оценки качества жизни применяли опросник определения качества жизни «термометр» EQ-5D (European Quality of Life Instrument) — численную характеристику самооценки здоровья в баллах от 1 до 100. В обеих группах применялась шкала реабилитационной маршрутизации.

Диагностику параметров ходьбы и баланса проводили при помощи сенсорной беговой дорожки (эргометр C-Mill, Forcelink B.V., Нидерланды), при этом оценивали следующие характеристики:

- мобильность (наличие или отсутствие дополнительной опоры, прихрамывание; затруднения при спуске/подъёме по лестнице, подъёме со стула; равновесие в покое) для определения риска падения пациентов;
- характеристики одного цикла ходьбы (длительность одного цикла ходьбы, частота, длина, ширина шага) с целью оценки паттерна походки;
- пространственный цикл (длина шага, длина двойного шага поражённой и контралатеральной/здоровой нижних конечностей) с целью определения симметричности между поражённой и контралатеральной нижними конечностями;
- временные характеристики (фаза опоры, суммарная опора, одиночная опора поражённой и контралатеральной/здоровой нижних конечностей) для определения ведущей конечности при преодолении препятствий, разницы между фазой опоры поражённой и контралатеральной нижними конечностями;
- графическое изображение траектории центра давления нагрузки между нижними конечностями, дающее представление о характеристиках нарушения походки (вертикальная составляющая реакции опоры);
- тесты по маркерам («Дорожка, подсказки», «Дорожка, обойдено препятствий», «Слалом», «Тандем», «Монстр»), характеризующим способность к адаптации походки по скорости и ходьбе при выполнении различных задач¹.

Пациенту предлагалось ходить по размеченной дорожке привычной походкой, в комфортном темпе, с прохождением заданий. Движения графически фиксировались с формированием отчёта, позволяющего наглядно проанализировать представленные кинематические характеристики походки. В результате исследования создавался «индивидуальный рисунок» движения — графическая модель ходьбы.

Этическая экспертиза

Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России (Чебоксары), протокол № 9 от 23.11.2023.

Статистический анализ

Полученные данные регистрировали в виде электронных таблиц; визуализацию структуры данных и их анализ проводили с помощью программ MS Office Excel 2007 (Microsoft, США) и Graf Pad². Для описания количественных показателей выполняли проверку на нормальность распределения по критерию Колмогорова–Смирнова. При нормальном распределении для описания признака использовали его среднее значение и среднеквадратичное отклонение с 95% доверительным интервалом (95% ДИ). Различия показателей между группами считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

¹ ForceLink B.V. [Интернет]. Терапевтическое руководство «Эргометр Mill. Вариант исполнения C-Mill». Режим доступа: <https://en.52wmb.com/supplier/3193955>.

² GraphPad Software [Интернет]. Prism. Analyze, graph and present your scientific work. Режим доступа: <https://www.graphpad.com/>.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты (участники) исследования

В исследование включены 55 пациентов, разделённых на группы. К первой группе, основной ($n=35$), отнесены пациенты с нарушением походки, установленным по Международной классификации болезней 10-го пересмотра (МКБ-10) диагнозом «Первичный гонартроз III–IV стадии» по классификации Н.С. Косинской и Kellgren & Lawgense, подлежащие оперативному лечению в объёме тотального эндопротезирования коленного сустава. Вторая группа, контрольная ($n=20$), включала пациентов с установленным диагнозом «Первичный гонартроз I стадии». Средний возраст пациентов в основной группе — 58,7 года, в контрольной — 47,5 года.

В обеих исследуемых группах преобладали женщины, имелись статистически значимые различия в возрастном

составе пациентов. В основной группе преобладали пациенты нетрудоспособного возраста (женщины старше 55 лет, мужчины старше 60 лет). Половозрастные характеристики групп наблюдения представлены в табл. 1.

В рамках обследования 35 пациентов с гонартрозом, госпитализированных для тотального эндопротезирования коленного сустава, отмечено, что данная патология встречалась у лиц трудоспособного возраста в 37,1% случаев. Большая часть пациентов основной группы (70,1%) передвигалась при помощи дополнительной опоры — трости, в контрольной группе все пациенты ходили самостоятельно. Испытуемые обеих групп удерживали равновесие в покое, 100% пациентов основной группы при подъёме и спуске по лестнице использовали перила, подъём со стула осуществляли с опорой на руки для сохранения баланса. Функциональные характеристики обеих групп имели статистически значимые различия (табл. 2).

Таблица 1. Половозрастные характеристики групп наблюдения

Table 1. Sex and age characteristics of the observation groups

Признак/группа	Основная группа, $n=35$	Контрольная группа, $n=20$
Мужчины, n	6	4
Женщины, n	29	16
Средний возраст (95% ДИ), лет, в том числе:	58,7±5,5 (57,1–60,9)	47,5±8,1 (41,8–51,2)* $p=0,0002$
• трудоспособные	13	20
• нетрудоспособные	22	-

*Примечание.** Статистически значимые различия.

Note. * Statistically significant differences.

Таблица 2. Функциональные характеристики групп (95% ДИ)

Table 2. Functional characteristics of the groups (95% confidence interval, CI)

Характеристики коленного сустава	Основная группа, $n=35$	Контрольная группа, $n=20$
ВАШ, балл		
• в покое	3,9±0,9 (3,7–4,3)	1,4±0,5 (0,7–1,3)
• при активации	5,8±1,0 (5,7–6,3)* $p=0,00000$	
KSS1, балл	36,1±8,2 (38,2–43,8)* $p=0,00000$	91,7±4,3 (89,5–94,5)
KSS2, балл	59,6±13,0 (50,5–59,5)* $p=0,00000$	100,0±0,0 (100,0–100,0)
EQ-5D-VAS	47,7±5,0 (48,3–51,7)* $p=0,00000$	92,2±3,9 (87,7–92,3)
Угол сгибания, град.	84,9±8,2 (82,2–87,8)* $p=0,00000$	154,1±4,8 (152,2–157,8)
Угол разгибания, град.	171,3±3,4 (168,8–171,2)* $p=0,00000$	180,0±0,0 (180,0–180,0)
ШПМ, балл	4,0±0,0 (4,0–4,0)* $p=0,00000$	2,0±0,0 (2,0–2,0)

*Примечание.** Статистически значимые различия. ВАШ (VAS) — визуальная аналоговая шкала; KSS1/KSS2 — шкала оценки коленных/функциональных баллов; EQ-5D-VAS — визуальная аналоговая шкала для опросника EQ-5D; ШПМ — шкала реабилитационной маршрутизации.

Note. * Statistically significant differences. ВАШ (VAS) — visual analogue scale; KSS1/KSS2 — knee/functional rating scale; EQ-5D-VAS — visual analogue scale for the European Quality of Life Instrument questionnaire; ШПМ — rehabilitation routing scale.

Основные результаты исследования

В основной группе отмечались достоверное увеличение интенсивности боли по шкале ВАШ при активации и по шкале EQ-5D, более низкие коленные и функциональные баллы по шкале KSS, меньшие углы сгибания/разгибания в суставе ($p=0,00000$).

Степень сложности субъективных вопросов оценили как лёгкую 100% пациентов контрольной группы, тогда как в основной группе ответы были неоднозначными: 2 (5,7%) человека охарактеризовали вопросы как лёгкие, 26 (74,3%) — как средние, 7 (20%) — как тяжёлые.

Объективные двигательные характеристики обеих групп при 95% ДИ имели некоторые различия; при сравнении использованы показатели контралатеральной (условно здоровой) конечности пациентов основной и показатели конечностей контрольной групп (табл. 3).

Период переноса обеими конечностями, ширина шага, доля подсказок при ходьбе по дорожке, доля обойдённых препятствий, а также доля выполненных заданий «слалом», «тандем» и «монстр» в группах имели незначительные различия, не являющиеся статистически значимыми (рис. 1).

Таблица 3. Двигательные характеристики пациентов обеих групп, полученные в ходе диагностики на комплексе C-Mill (95% ДИ)

Table 3. Motor characteristics of patients in both groups, obtained during C-Mill diagnosis, (95% CI)

Характеристики	Основная группа, $n=35$	Контрольная группа, $n=20$
<i>Временные</i>		
Частота шагов в минуту	67,3±10,1 (63,2–70,2)* $p=0,0331$	76,9±14,2 (69,3–85,7)
Длина цикла шага	0,6±0,2 (0,5–0,7)* $p=0,0000$	0,8±0,1 (0,8–1,0)
Период опоры поражённой конечности, сек	1,1±0,3 (1,2–1,4)* $p=0,0402$	1,2±0,3 (0,9–1,3), S
Период опоры контралатеральной конечности, сек	1,4±0,3 (1,2–1,4)* $p=0,0448$	1,2±0,3 (0,9–1,3), D
Период переноса поражённой конечности, сек	0,5±0,1 (0,5–0,5)	0,5±0,0 (0,5–0,5)
Период переноса контралатеральной конечности, сек	0,5±0,1 (0,5–0,5)	0,5±0,0 (0,5–0,5)
<i>Пространственные</i>		
Длина шага поражённой конечности, м	0,3±0,1 (0,0–0,0)* $p=0,0000$	0,4±0,1 (0,4–0,4), D=S
Длина шага контралатеральной конечности, м	0,3±0,1 (0,0–0,0)* $p=0,0000$	0,4±0,1 (0,4–0,4), D=S
Ширина шага, м	0,1±0,0 (0,1–0,1)	0,1±0,0 (0,1–0,1)
<i>Пространственно-временные</i>		
Скорость, км/ч	1,2±0,3 (1,1–1,3)* $p=0,0001$	1,8±0,4 (1,8–2,2)
<i>Выполнение заданий</i>		
Ходьба по меткам, поражённая конечность, попадания, %	74,9±18,7 (69,5–82,3)* $p=0,0000$	91,4±4,7 (89,2–94,6), S
Ходьба по меткам, контралатеральная конечность, попадания, %	77,2±18,8 (71,5–84,5)* $p=0,0005$	91,7±8,5 (88,2–98,0), D
Дорожка, подсказки, %	92,6±9,5 (93,0–104,0)	94,6±14,7 (92,2–107,8)
Дорожка, обойдено препятствий, %	68,3±39,7 (64,1–109,9)	71,2±30,5 (63,7–96,3)
Слалом, %	93,1±12,0 (70,3–129,7)	98,9±1,8 (98,7–101,3)
Тандем, %	99,4±1,7 (98,6–101,4)	99,4±0,8 (91,8–107)
Монстр, счёт	76,1±64,9 (-9,1–110,2)	87,6±10,9 (76,5–103,5)

Примечание. * Статистически значимые различия. D (dexter) — правая сторона; S (sinister) — левая сторона.

Note. * Statistically significant differences. D (dexter) — right side; S (sinister) — left side.

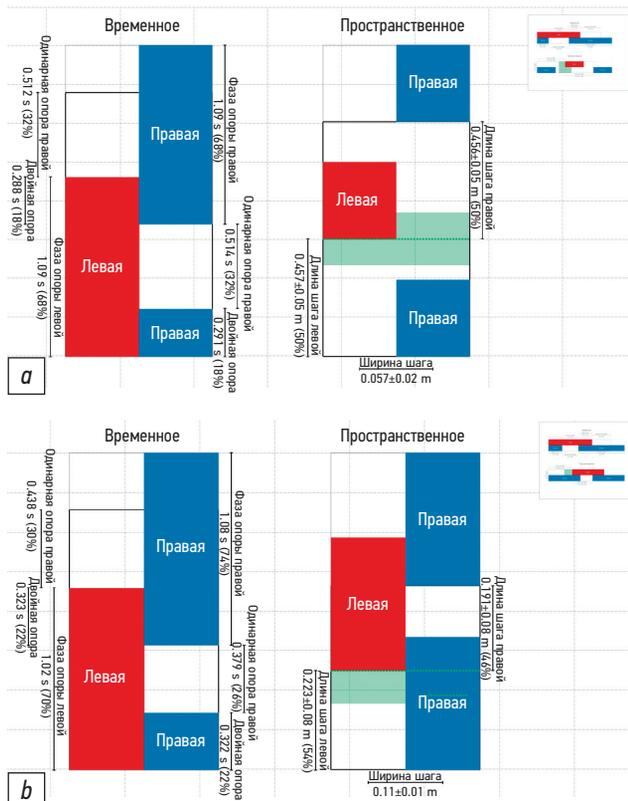


Рис. 1. Измерение пространственных характеристик параметров ходьбы пациента: *a* — гистограмма пациента контрольной группы; *b* — гистограмма пациента основной группы; *c* — ходьба пациента основной группы по меткам.

Fig. 1. Measurement of the spatial characteristics of the patient's walking parameters: *a* — histogram of the patient of the control group; *b* — histogram of the patient of the main group; *c* — walking of the patient of the main group according to the labels.

Статистические значимые различия ($p < 0,05$) с преимуществом контрольной группы выявлены по следующим параметрам: скорость, частота шагов, длина шага, период опоры, длина цикла шага и ходьба по меткам, процент попаданий в метки при ходьбе по меткам.

Период опоры контралатеральной конечности в основной группе превышал значения поражённой, что свидетельствует

об асимметрии походки, ведущей к перераспределению траектории центра давления на контралатеральную нижнюю конечность, клинически проявляющейся хромотой (рис. 2).

Выполнение заданий с препятствиями в основной группе было значительно затруднено из-за изменений биомеханики движений, контрактуры в поражённом суставе.

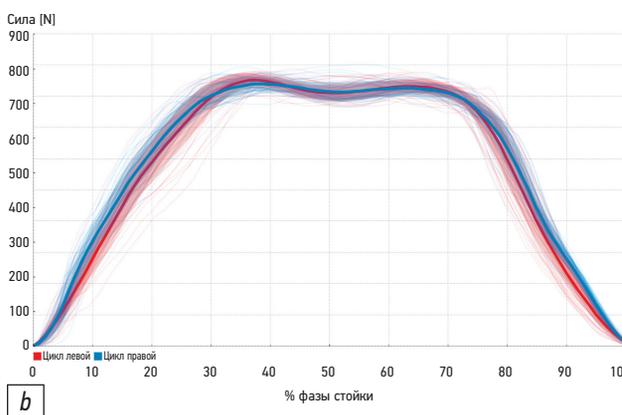
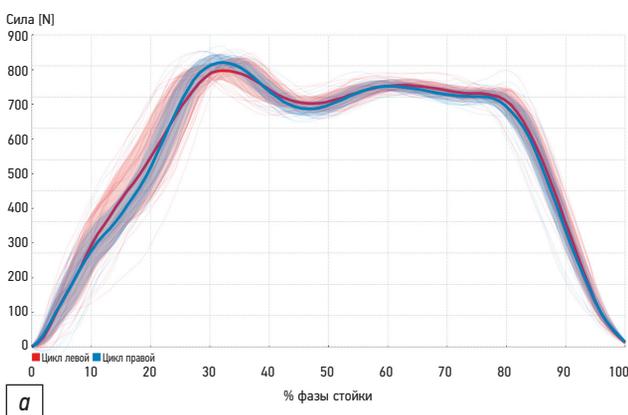


Рис. 2. Вертикальная составляющая реакции опоры при ходьбе пациентов: *a* — контрольной группы (красная кривая — цикл левой, синяя кривая — цикл правой нижней конечности); *b* — основной группы (красная кривая — цикл контралатеральной, синяя кривая — цикл поражённой конечности).

Fig. 2. Vertical component of the support reaction during walking: *a* — control group (red curve, cycle of the left; blue curve, cycle of the right lower limb); *b* — main group (red curve, cycle of the contralateral, blue curve, cycle of the affected limb).

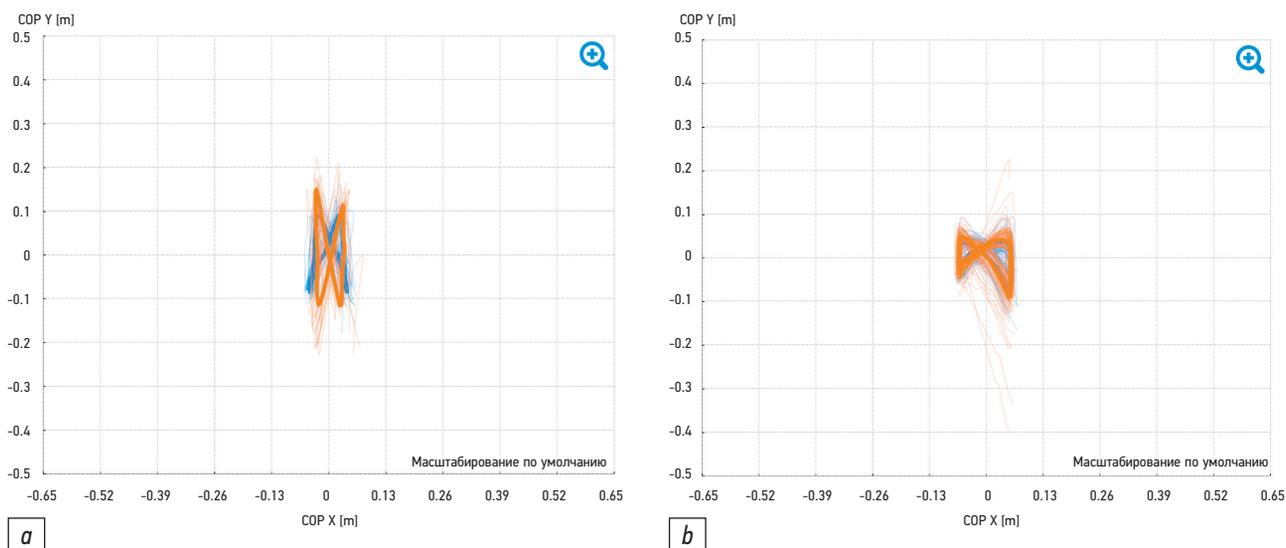


Рис. 3. Перемещение центра давления у пациентов контрольной (а) и основной (b) групп.
Fig. 3. Displacement of the centre of pressure in patients of the control (a) and main (b) groups.

Походка у лиц в основной группе по сравнению с контрольной характеризовалась уменьшением произвольной скорости, частоты шагов, изменением схемы ходьбы в различных плоскостях, что подтверждает тяжёлые клиническо-функциональные нарушения в нижней конечности, а именно мышечно-связочном аппарате коленного сустава (рис. 3).

Таким образом, в основной группе при анализе временных показателей, составляющих цикл шага, отмечалось достоверное удлинение времени периода опоры на контралатеральную сторону, укорочение периода опоры на поражённую нижнюю конечность, уменьшение частоты и длины цикла шага, что позволяет минимизировать болевые ощущения в момент максимальной нагрузки на сустав. Иными словами, в основной группе пациенты во избежание резкой боли при опоре на конечность с поражённым суставом плавно нагружали её сначала весом конечности, а уже потом переносили на эту конечность вес всего тела.

Выраженность патологических изменений походки при прогрессивном течении артроза и их последствия явились дополнительным аргументом в пользу оперативного лечения гонартроза у пациентов основной группы.

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные в ходе исследования данные подтверждают феномен перераспределения функций коленного сустава у пациентов с гонартрозом, когда со снижением скорости ходьбы меняются многие параметры, что позволяет разгрузить поражённую конечность. Косвенно данное положение подтверждается исследованием S. Fien и соавт. [22].

Проведённое нами исследование выявило наиболее характерные изменения стереотипа ходьбы у больных гонартрозом, направленные на уменьшение боли в суставах.

Меньший период опоры поражённой конечности и больший — контралатеральной конечности у пациентов основной

группы в результате болевого синдрома и ограничения подвижности в коленном суставе приводят к смещению центра давления на контралатеральную сторону, чего мы не наблюдали в контрольной группе, а в итоге — формированию нарушения походки, проявляющегося хромотой [6, 11, 23].

Согласно исследованиям некоторых авторов, нарушение походки при гонартрозе подчиняется общим правилам компенсаторных изменений: правилу перераспределения функций (здоровая конечность выполняет преимущественно функцию опоры, а больная — преимущественно функцию переноса); правилу функционального копирования (здоровая конечность копирует функцию больной с целью уменьшения функциональной асимметрии); правилу обеспечения оптимума (больной конечности обеспечивается режим функционирования, приближённый к нормальному, за счёт функционального напряжения здоровой) [19, 23]. По результатам нашего исследования подтвердить данные положения не удалось.

Модификация походки с использованием системы биологической обратной связи в реальном времени является консервативным вмешательством, имеющим положительные результаты. Результаты систематических обзоров подтверждают эффективность различных стратегий, использующих биологическую обратную связь в реальном времени, для снижения предполагаемой нагрузки на коленный сустав [23].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявленные в ходе исследования клиническо-функциональные нарушения в коленном суставе в дополнение к стандартным показателям, согласно клиническим рекомендациям, подтвердили необходимость своевременного выполнения оперативного вмешательства — эндопротезирования коленного сустава.

Изменение биомеханики ходьбы у пациентов с гонартрозом III–IV стадии создаёт неустойчивость походки во время ходьбы, что может быть чревато высоким риском падений, лишая пациента возможности вести нормальный образ жизни и нередко формируя зависимость от посторонней помощи в бытовых вопросах. Именно поэтому проблема нарушения походки при заболеваниях опорно-двигательного аппарата становится значимой как в медицинском, так и социальном аспектах.

Ставшее доступным исследование стереотипа ходьбы у пациентов с учётом анатомических особенностей, данных биомеханики на многофункциональном комплексе с биологической обратной связью может быть использовано в качестве дополнительного инструмента при обосновании тактики лечения с последующим составлением индивидуального плана медицинской реабилитации и восстановления функции нижней конечности в послеоперационном периоде, а также профилактики падений, улучшения качества жизни в дальнейшем.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Исследовательская работа проведена на личные средства авторского коллектива.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаев Н.С., Петрова Р.В. Физическая реабилитация пациентов после эндопротезирования крупных суставов нижних конечностей. Чебоксары: Чувашское книжное издательство, 2020. 192 с.
2. Гонартроз. Клинические рекомендации (утв. Минздравом России 03.09.2021). Ассоциация травматологов-ортопедов России, Ассоциация ревматологов России, 2021.
3. Портянникова О.О., Цвингер С.М., Говорин А.В., Романова Е.Н. Анализ распространенности и факторов риска развития остеоартрита в популяции // Современная ревматология. 2019. Т. 13, № 2. С. 105-111. EDN: QJHMIG doi: 10.14412/1996-7012-2019-2-105-111
4. Block J.A., Cherny D. Management of knee osteoarthritis: What internists need to know // *Rheum Dis Clin North Am.* 2022. Vol. 48, N 2. P. 549-567. doi: 10.1016/j.rdc.2022.02.011
5. Schuster E., Routson R.L., Hinchcliff M., et al. A novel walking cane with haptic biofeedback reduces knee adduction moment in the osteoarthritic knee // *J Biomech.* 2021. Vol. 114. P. 110150. doi: 10.1016/j.jbiomech.2020.110150
6. Алтухова А.В., Кауркин С.Н., Скворцов Д.В., и др. Функциональная симптоматика в отдаленные сроки после тотального эндопротезирования коленного сустава // Клиническая практика. 2021. Т. 12, № 1. С. 16-24. EDN: MVBXDG doi: 10.17816/clinpract60043
7. Байбулатова Л.Ф., Закирова Д.Р., Мамедов Х.И., Хузина Г.Р. Нарушения ходьбы у лиц пожилого возраста: диагностика

Вклад авторов. Н.С. Николаев — концепция и дизайн, утверждение рукописи для публикации; Р.В. Петрова — идея исследования, научная редакция текста рукописи; Е.В. Викторова — обзор публикаций по теме статьи, выбор и обследование пациентов, написание текста рукописи; Е.В. Преображенская — предоставление и анализ полученных данных. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

ADDITIONAL INFORMATION

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

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contributions. N.S. Nikolaev — concept and design, approval of the manuscript for publication; R.V. Petrova — the idea of research, scientific revision of the text of the manuscript; E.V. Viktorova — review of publications on the topic of the article, selection and examination of patients, writing the text of the manuscript; E.V. Preobrazhenskaya — provision and analysis of the received data. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

и комплексная реабилитация // Вестник современной клинической медицины. 2016. Т. 9, № 6. С. 115-119. EDN: XAYZUR doi: 10.20969/VSKM.2016.9(6).115-119

8. Скворцов Д.В. Клинический анализ движений. Анализ походки. Иваново: Стимул, 1996. 344 с.

9. Косов И.С., Меркулов В.Н., Имяров Ш.Д., Михайлова С.А. Клинический анализ ходьбы и оценка результатов оперативного лечения детей с нейрогенной деформацией стоп // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2014. Т. 21, № 3. С. 45-51. EDN: QWZNE doi: 10.17816/vto20140345-51

10. Дронь А.Ю., Касумов К.М. Эффективность применения средств лечебной физической культуры при травмах и повреждениях опорно-двигательного аппарата лыжников-гонщиков // Вестник Сургутского государственного педагогического университета. 2015. № 1. С. 172-180.

11. Хаптагаев Т.Б., Конев С.М., Конева Е.С., Струков Р.Н. Восстановление стереотипа ходьбы с использованием БОС-видеореконструкции в раннем послеоперационном периоде у пациентов после тотального эндопротезирования // Курортная медицина. 2022. № 3. С. 114-120. EDN: MWFQPU doi: 10.51871/2304-0343_2022_3_114

12. Rieger M.M., Papegaaij S., Steenbrink F., et al. Perturbation-based gait training to improve daily life gait stability in older adults at risk of falling: Protocol for the REACT randomized controlled trial // *BMC Geriatr.* 2020. Vol. 20, N 1. P. 167. EDN: VJTOEX doi: 10.1186/s12877-020-01566-z

13. Kuijpers R., Smulders E., Groen B.E., et al. Walking adaptability improves after treadmill training in children with Developmental Coordination Disorder: A proof-of-concept study // *Gait Posture*. 2022. Vol. 92. P. 258-263. EDN: CPQBMS doi: 10.1016/j.gaitpost.2021.11.038
14. Van Ooijen M.W., Roerdink M., Trekop M., et al. The efficacy of treadmill training with and without projected visual context for improving walking ability and reducing fall incidence and fear of falling in older adults with fall-related hip fracture: A randomized controlled trial // *BMC Geriatr*. 2016. Vol. 16, N 1. P. 215. EDN: HWRHGX doi: 10.1186/s12877-016-0388-x
15. Косинская Н.С., Рохлин Д.Г. Рабочая классификация и общая характеристика поражений костно-суставного аппарата. Ленинград: Медицина, 1961. 169 с.
16. Kellgren J.H., Jeffrey M., Ball J. Atlas of standard radiographs. Vol. 2. Oxford: Blackwell Scientific, 1963.
17. Schmitt J., Lange T., Günther K.P., et al. Indication Criteria for total knee arthroplasty in patients with osteoarthritis--a multi-perspective consensus study // *Z Orthop Unfall*. 2017. Vol. 155, N 5. P. 539-548. doi: 10.1055/s-0043-115120
18. Корнилов Н.Н., Куляба Т.А. Артропластика коленного сустава. Санкт-Петербург: РНИИТО, 2012. 227 с.
19. Goh S.L., Persson M.S., Stocks J., et al. Relative efficacy of different exercises for pain, function, performance and quality of life in knee and hip osteoarthritis: Systematic review and network meta-analysis // *Sports Med*. 2019. Vol. 49, N 5. P. 743-761. EDN: EUTSYZ doi: 10.1007/s40279-019-01082-0
20. Петрова Р.В., Николаев Н.С., Цыкунов М.Б. Реабилитационные подходы при артропластике коленного сустава // *Вестник восстановительной медицины*. 2022. Т. 21, № 2. С. 61-69. EDN: NZTRAW doi: 10.38025/2078-1962-2022-21-2-61-69
21. Скворцов Д.В., Королева С.В. Динамика параметров ходьбы в процессе реабилитации после тотального эндопротезирования коленного сустава // *Научно-практическая ревматология*. 2019. Т. 57, № 6. С. 704-707. EDN: WZFFHC doi: 10.14412/1995-4484-2019-704-707
22. Fien S., Henwood T., Climstein M., et al. Gait speed characteristics and their spatiotemporal determinants in nursing home residents: A cross-sectional study // *J Geriatr Phys Ther*. 2019. Vol. 42, N 3. P. E148-E154. doi: 10.1519/JPT.000000000000160
23. Eddo O.O., Lindsey B.W., Caswell S.V., et al. Unintended changes in contralateral limb as a result of acute gait modification // *J Appl Biomech*. 2020. Vol. 36, N 1. P. 13-19. doi: 10.1123/jab.2019-0031

REFERENCES

1. Nikolaev NS, Petrova RV. *Physical rehabilitation of patients after endoprosthesis of large joints of lower limbs*. Cheboksary: Chuvash Book Publishing House; 2020. 192 p. (In Russ).
2. *Gonarthritis*. Clinical recommendations (approved by the Ministry of Health of Russia 03.09.2021). Association of traumatologists and orthopaedists of Russia, Association of rheumatologists of Russia; 2021. (In Russ).
3. Portyannikova OO, Tsvinger SM, Govorin AV, Romanova EN. Analysis of the prevalence and risk factors of osteoarthritis in a population. *Modern rheumatology journal*. 2019;13(2):105-111. EDN: QJHMIG doi: 10.14412/1996-7012-2019-2-105-111
4. Block JA, Cherny D. Management of knee osteoarthritis: What internists need to know. *Rheum Dis Clin North Am*. 2022;48(2):549-567. doi: 10.1016/j.rdc.2022.02.011
5. Schuster E, Routson RL, Hinchcliff M, et al. A novel walking cane with haptic biofeedback reduces knee adduction moment in the osteoarthritic knee. *J Biomech*. 2021;114:110150. doi: 10.1016/j.jbiomech.2020.110150
6. Altukhova AV, Kaurkin SN, Skvortsov DV, et al. Long-term functional symptoms after total knee arthroplasty. *J Clin Pract*. 2021;12(1):16-24. EDN: MVBXDG doi: 10.17816/clinpract60043
7. Baybulatova LF, Zakirova DR, Mamedov Khl, Khuzina GR. Gait disorders in the elderly: diagnosis and complex rehabilitation. *Bulletin modern clinical medicine*. 2016;9(6):115-119. EDN: XAYZUR doi: 10.20969/VSKM.2016.9(6).115-119
8. Skvortsov DV. *Clinical analysis of movements. Analysis of gait*. Ivanovo: Stimul; 1996. 344 p. (In Russ).
9. Kosov IS, Merkulov VN, Imyarov ShD, Mikhaylova SA. Clinical analysis of gait and assessment of surgical treatment outcomes in children with neurogenic feet deformity. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2014;21(3):45-51. EDN: QWZNIÉ doi: 10.17816/vto20140345-51
10. Dron AYu, Kasumov KM. Cure medical physical culture application efficiency for injuries and damages of skiers-racers musculoskeletal device. *Bulletin Surgut State Pedagogical University*. 2015;(1):172-180.
11. Khaptagaev TB, Konev SM, Koneva ES, Strukov RN. Restoration of the stereotype of walking using a biofeedback-videoreconstruction in the early postoperative period with patients after total knee replacement. *Resort medicine*. 2022;(3):114-120. EDN: MWFQPU doi: 10.51871/2304-0343_2022_3_114
12. Rieger MM, Papegaaij S, Steenbrink F, et al. Perturbation-based gait training to improve daily life gait stability in older adults at risk of falling: Protocol for the REACT randomized controlled trial. *BMC Geriatr*. 2020;20(1):167. EDN: VJTOEX doi: 10.1186/s12877-020-01566-z
13. Kuijpers R, Smulders E, Groen BE, et al. Walking adaptability improves after treadmill training in children with Developmental Coordination Disorder: A proof-of-concept study. *Gait Posture*. 2022;92:258-263. EDN: CPQBMS doi: 10.1016/j.gaitpost.2021.11.038
14. Van Ooijen MW, Roerdink M, Trekop M, et al. The efficacy of treadmill training with and without projected visual context for improving walking ability and reducing fall incidence and fear of falling in older adults with fall-related hip fracture: A randomized controlled trial. *BMC Geriatr*. 2016;16(1):215. EDN: HWRHGX doi: 10.1186/s12877-016-0388-x
15. Kosinskaya NS, Rokhlin DG. *Working classification and general characterisation of lesions of the osteoarticular apparatus*. Leningrad: Meditsina; 1961. 169 p. (In Russ).
16. Kellgren JH, Jeffrey M, Ball J. *Atlas of standard radiographs*. Vol. 2. Oxford: Blackwell Scientific; 1963.
17. Schmitt J, Lange T, Günther KP, et al. Indication criteria for total knee arthroplasty in patients with osteoarthritis--a multi-perspective consensus study. *Z Orthop Unfall*. 2017;155(5):539-548. doi: 10.1055/s-0043-115120
18. Kornilov NN, Kulyaba TA. *Arthroplasty of the knee joint*. Saint Petersburg: Russian Research Institute of Traumatology and Orthopaedics named after R.R. Vreden; 2012. 227 p. (In Russ).

19. Goh SL, Persson MS, Stocks J, et al. Relative efficacy of different exercises for pain, function, performance and quality of life in knee and hip osteoarthritis: Systematic review and network meta-analysis. *Sports Med.* 2019;49(5):743-761. EDN: EUTSYZ doi: 10.1007/s40279-019-01082-0
20. Petrova RV, Nikolaev NS, Tsykunov MB. Rehabilitation approaches for knee arthroplasty. *Bulletin Rehabilitation Medicine.* 2022;21(2): 61-69. EDN: NZTRAW doi: 10.38025/2078-1962-2022-21-2-61-69
21. Skvortsov DV, Koroleva SV. Changes in gait parameters during rehabilitation after total knee arthroplasty. *Rheumatology*

Science Practice. 2019;57(6):704-707. EDN: WZFFHC doi: 10.14412/1995-4484-2019-704-707

22. Fien S, Henwood T, Climstein M, et al. Gait speed characteristics and their spatiotemporal determinants in nursing home residents: A cross-sectional study. *J Geriatr Phys Ther.* 2019;42(3):E148-E154. doi: 10.1519/JPT.0000000000000160

23. Eddo OO, Lindsey BW, Caswell SV, et al. Unintended changes in contralateral limb as a result of acute gait modification. *J Appl Biomech.* 2020;36(1):13-19. doi: 10.1123/jab.2019-0031

ОБ АВТОРАХ

* **Николаев Николай Станиславович**, д-р мед. наук, профессор;
адрес: Россия, 428020, Чувашская Республика,
Чебоксары, ул. Ф. Гладкова, д. 33;
ORCID: 0000-0002-1560-470X;
eLibrary SPIN: 8723-9840;
e-mail: nikolaevns@mail.ru

Петрова Роза Васильевна;
ORCID: 0000-0002-9596-4309;
eLibrary SPIN: 1555-1352;
e-mail: rpetrova@orthoscheb.com

Викторова Елена Вячеславовна;
ORCID: 0009-0005-2793-8925;
e-mail: elenaviktorova79@mail.ru

Преображенская Елена Васильевна;
ORCID: 0000-0003-3556-145X;
eLibrary SPIN: 1525-3912;
e-mail: alenka_22@bk.ru

AUTHORS' INFO

* **Nikolay S. Nikolaev**, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
address: 33 F. Gladkova street, 428020 Cheboksary,
Chuvash Republic, Russia;
ORCID: 0000-0002-1560-470X;
eLibrary SPIN: 8723-9840;
e-mail: nikolaevns@mail.ru

Roza V. Petrova;
ORCID: 0000-0002-9596-4309;
eLibrary SPIN: 1555-1352;
e-mail: rpetrova@orthoscheb.com

Elena V. Viktorova;
ORCID: 0009-0005-2793-8925;
e-mail: elenaviktorova79@mail.ru

Elena V. Preobrazhenskaya;
ORCID: 0000-0003-3556-145X;
eLibrary SPIN: 1525-3912;
e-mail: alenka_22@bk.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author