

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ
ORIGINAL ARTICLE

<https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2025.3.CLIN.7>
УДК 616.728.3-089.844:612.766:616.71-007.24



АНАЛИЗ ПОХОДКИ И КИНЕМАТИКИ КОЛЕННОГО СУСТАВА ДО ОПЕРАЦИИ, ЧЕРЕЗ 6 И 18 МЕСЯЦЕВ ПОСЛЕ ОТКРЫТОУГОЛЬНОЙ ВЫСОКОЙ ТИБИАЛЬНОЙ ОСТЕОТОМИИ

А.П. Призов^{1,2}, Н.В. Загородний¹, А.М. Востриков¹, Д.В. Скворцов³, Г.А. Айрапетов¹, Ф.Л. Лазко^{1,2},
А.А. Ахпашев³, А.В. Алтухова³

¹Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Москва, 117198, Россия

²Городская клиническая больница им. В.М. Буянова, ул. Бакинская, д. 26, г. Москва, 115516, Россия

³Федеральный научно-клинический центр ФМБА России, Ореховый бульвар, д. 28, г. Москва, 115682, Россия

Резюме. *Введение.* Корректирующая остеотомия коленного сустава используется как суставосберегающая операция при варусной деформации. Долгосрочные функциональные результаты ещё недостаточно хорошо изучены. *Цель исследования* заключалась в оценке отдалённых функциональных, клинических результатов и оценке биомеханики походки у пациентов через 6 и 18 месяцев после хирургической коррекции. *Объект и методы.* В исследование включено 20 пациентов с медиальным остеоартрозом коленного сустава 2-3 стадии и варусной деформацией более $> 4^\circ$. Всего пациентам было проведено 21 оперативное вмешательство. Пациентам проводилась рентгенография нижних конечностей под нагрузкой, а оценка функции коленного сустава осуществлялась при помощи шкал KSS, KOOS и ВАШ. Биомеханические параметры ходьбы регистрировались с помощью инерциальной сенсорной системы в период до операции, через 6 и 18 месяцев после операции. Были проанализированы временные и кинематические параметры ходьбы. *Результаты.* Рентгенологические показатели продемонстрировали стабильную коррекцию варусной деформации. По шкалам KOOS, KS и ВАШ наблюдалось умеренное динамическое улучшение функции оперированного коленного сустава в период наблюдения до операции, через 6 и 18 месяцев после операции. Биомеханические показатели продемонстрировали улучшение функции коленного сустава в первые 6 месяцев после операции. *Заключение.* Таким образом, основные изменения в клинико-функциональном состоянии происходят в первые 6 месяцев после оперативного лечения. По данным исследования, в отдалённом периоде наблюдения выявлено умеренное клиническое улучшение, которое оценивалось по шкалам ВАШ, KOOS и KSS. Биомеханические изменения были незначительными.

Ключевые слова: анализ походки [D005684]; кинематика [D001696]; коленный сустав [D007719]; высокая тибиальная остеотомия [D010027]; открытоугольная остеотомия [D010027]; биомеханика [D001696]; послеоперационный период [D011184]; функциональные результаты [D016896]; реабилитация [D012046].

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование было профинансировано в рамках государственного проекта ФНKC ФМБА России, государственный регистрационный номер 20.004.21.800.

Соответствие нормам этики. Авторы подтверждают, что соблюдены права людей, принимавших участие в исследовании, включая получение информированного согласия в тех случаях, когда оно необходимо.

Для цитирования: Призов А.П., Загородний Н.В., Востриков А.М., Скворцов Д.В., Айрапетов Г.А., Лазко Ф.Л., Ахпашев А.А., Алтухова А.В. Анализ походки и кинематики коленного сустава до операции, через 6 и 18 месяцев после открытоугольной высокой тибиальной остеотомии. *Вестник медицинского института «РЕАВИЗ»: Реабилитация, Врач и Здоровье.* 2025;15(3):129-137. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2025.3.CLIN.7>



GAIT ANALYSIS AND KNEE KINEMATICS BEFORE SURGERY, 6 AND 18 MONTHS AFTER HIGH TIBIAL OSTEOTOMY

Aleksey A. Prizov^{1,2}, Nikolay V. Zagorodniy¹, Anatoliy M. Vostrikov¹, Dmitriy V. Skvortsov³, Georgiy A. Ayrapetov¹, Fedor L. Lazko^{1,2}, Aleksandr A. Akhpashev³, Alena V. Altukhova³

¹Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, 6, Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russia

²City Clinical Hospital named after V.M. Buyanov, 26, Bakinskaya str., Moscow, 115516, Russia

³Federal Research and Clinical Centre of Russia's Federal Medical-Biological Agency, 28, Orekhovy Blvd., Moscow, 115682, Russia

Abstract. *Introduction.* Corrective knee joint osteotomy is used as a joint-preserving surgery for varus deformity. Longer-term functional outcomes have not been studied well enough yet. The study objective was to assess longer-term functional, clinical, outcomes and gait biomechanics in patients after 6 and 18 months after surgery correction. *Object and methods.* The study included 20 patients with medial osteoarthritis of the knee of grade 2-3 and a varus deformity of $> 4^\circ$. A total of 21 surgeries were performed on the patients. Full length weightbearing (FLWB) X-ray and corrective knee joint assessments were done using the KSS, KOOS and VAS scoring systems were obtained from all the patients. Biomechanical gait parameters were captured using an inertial sensor system at the timepoint of before the surgery, 6 months, and 18 months after surgery. Temporal and kinematic parameters of walking were analyzed. *Results.* The radiological parameters showed stable varus deformity correction. According to the KOOS, KS and VAS scores, there was a moderate dynamic improvement in the operated knee function during the follow-up period before surgery to 6 and to 18 months after surgery. Biomechanical parameters showed an improvement in corrective knee joint function of the operated side in the first 6 months after surgery. In the following year, there were some subjective improvements but without any significant changes in gait biomechanics or knee kinematics. *Conclusion.* Thus, the main changes in the clinical and functional state occur in the first 6 months after surgery. According to the study data, there was a moderate clinical improvement, as assessed by VAS, KOOS and KSS, in the long-term follow-up period. The biomechanical changes were minor.

Keywords: gait analysis [D005684]; kinematics [D001696]; knee joint [D007719]; high tibial osteotomy [D010027]; opening wedge osteotomy [D010027]; biomechanics [D001696]; postoperative period [D011184]; functional outcomes [D016896]; rehabilitation [D012046].

Competing interests. The authors declare no competing interests.

Funding. The study was funded as part of the government assignment to FNKC FMBA, state registration No. 20.004.21.800.

Compliance with ethical principles. The authors confirm that they respect the rights of the people participated in the study, including obtaining informed consent when it is necessary.

Cite as: Prizov A.P., Zagorodniy N.V., Vostrikov A.M., Skvortsov D.V., Ayrapetov G.A., Lazko F.L., Akhpashev A.A., Altukhova A.V. Gait analysis and knee kinematics before surgery, 6 and 18 months after high tibial osteotomy. *Bulletin of the Medical Institute "REAVIZ": Rehabilitation, Doctor and Health.* 2025;15(3):129-137. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2025.3.CLIN.7>

Введение

Остеоартрит (ОА) медиального отдела коленного сустава часто является следствием варусной деформации нижней конечности [1]. Варусная деформация (ВД) изменяет не только нагрузку на коленный сустав, но и биомеханику сустава [2].

Корригирующая остеотомия коленного сустава (КС) применяется в качестве суставосберегающей операции при варусной деформации [3, 4]. Одним из способов коррекции таких деформаций является открытоугольная высокая тибиальная остеотомия (ОУВТО). Основной целью корригирующей остеотомии является снятие нагрузки с поражённой медиальной части сустава путём коррекции оси конечности в сторону вальгусной деформации, тем самым восстанавливая нормальную биомеханику сустава [5-7]. Устранение чрезмерной медиальной нагрузки на коленный сустав уменьшает болевой синдром и замедляет прогрессирование ОА [8].

Актуальным является вопрос изменения биомеханики коленного сустава вследствие варусной деформации, а также после ОУВТО. Некоторые авторы указывают на отсутствие существенных изменений параметров походки через 12 месяцев после операции, хотя отмечают улучшение субъективной оценки по шкалам KOOS, WOMAC и Lysholm [9]. Другие регистрируют нормализацию некоторых

параметров через 12 месяцев после операции, таких как скорость ходьбы, длина шага, амплитуда сгибания колена и момент сгибания колена. Варусный угол и приведение оперированного КС также уменьшаются [10]. Согласно Liu, X. и соавт. (2019), ОУВТО улучшает скорость ходьбы, длину шага, диапазон движений коленного сустава и приведение коленного сустава [11].

Согласно исследованию Bode G. и соавт., обнаружен положительный функциональный результат через 5 лет после хирургического лечения [12].

По результатам исследования Da Silva и соавт., боль, максимальная амплитуда сгибания коленного сустава, скорость ходьбы и момент приведения коленного сустава после ОУВТО являются ключевыми показателями эффективности [13]. В исследовании Da Cunha R.J., проведённом у пациентов с билатеральной варусной деформацией, после ОУВТО улучшаются биомеханические параметры ходьбы, в частности, уменьшается момент сил в КС во фронтальной плоскости [14]. Наше предыдущее исследование показало некоторые значительные изменения биомеханики походки и повлияло на кинематику КС в течение 6 месяцев после ОУВТО [15]. При этом в исследовании Liu X. и соавт. отмечается, что информации о биомеханических изменениях, происходящих в КС в результате развития остеоартрита и по-

следующего хирургического лечения, недостаточно [11].

Цель исследования состояла в том, чтобы оценить долгосрочные функциональные, клинические, рентгенологические исходы и биомеханику походки у пациентов после ОУВТО через 6 и 18 месяцев после операции.

Основная гипотеза исследования заключается в том, что основные функциональные изменения происходят в первые полгода после ОУВТО. В течение следующего года происходит дальнейшее восстановление функции суставов и ходьбы.

Объект и методы

В нашей работе представлено дальнейшее исследование группы пациентов с остеоартрозом коленного сустава 2 стадии с варусной деформацией, обследованных до хирургического лечения [16] и через 6 месяцев после него [15]. Здесь мы представляем функциональный результат лечения через 1,5 года после хирургической коррекции.

Исследование выполнено в соответствии с этическими принципами Хельсинкской декларации, с получением письменного информированного согласия субъекта, и одобрено Независимым междисциплинарным комитетом по этической экспертизе клинических испытаний (№ 6 от 07.04.2017 г.).

Исследование проводилось на базе ФНКЦ ФМБА России (г. Москва) и ГБУЗ «ГКБ им. В.М. Буянова ДЗМ». В исследование включено 25 пациентов, обследованных до операции, и 20 пациентов (9 мужчин и 11 женщин) (21 коленный сустав) с медиальным ОА коленного сустава и варусной деформацией вследствие внесуставной деформации большеберцовой кости более 4 степени. Всего пациентам была проведена 21 операция ОУВТО. Пять человек не смогли прийти на экспертизу. Демографические данные пациентов и средний индекс массы тела (ИМТ) представлены в таблице 1.

Таблица 1. Демографические данные пациентов
Table 1. Demographic data of patients

Параметры	До операции	Через 6 месяцев	Через 18 месяцев
Количество	25	20	20
Возраст, лет	54,7 (39-66)	55,8 (46-65)	54,3 (39-65)
Рост, см	168 (153-183)	162,1 (153-165)	166,9 (153-183)
Масса, кг	86,9 (62-123)	88,4 (68-104)	87,1 (62-123)
ИМТ, кг/м ²	31,34 (19,8-44,4)	32,8 (25,2-34,4)	30,8 (22,6-37,9)

Критерии включения: деформация $\leq 14^\circ$, медиальный ОА 2-3 ст. по Kellgren&Lawrence без костного дефекта; хондромалация медиального отдела КС по Outerbridge 2-4 ст.; угол между коленным, тазобедренным и голеностопным суставом (НКА angle) больше чем 4° и менее 14° варусной деформации; пациенты с умеренным или высоким уровнем физи-

ческой активностью; индекс массы тела (ИМТ) менее чем 35 кг/м^2 ; возраст пациентов от 30 до 70 лет; сгибание колена более чем на 90° ; дефицит разгибания менее 10° ; хондромалация латерального отдела коленного сустава и пателло-фemorального сочленения не более 0-1 ст. по Outerbridge; изменения латерального мениска не более чем 2 ст. по Stoller; без нестабильности связок; неэффективность ранее применявшихся консервативных методов лечения; интенсивность боли по визуальной аналоговой шкале (ВАШ) ≥ 4 .

Хирургическая техника

Операции проводились под спинальной анестезией. Первый этап включал в себя артроскопический лаваж и санацию КС. Использовали методику, описанную в исследовании [17], из косого разреза 5-6 см в проекции медиального мыщелка большеберцовой кости. Производился опил кости до латерального кортикального слоя, последний оставляли интактным. Зона остеотомии соответствовала размеру блока из трикальцийфосфата. После этого под контролем электронно-оптического преобразователя производилась фиксация зоны остеотомии при помощи фиксирующей пластины (Otis + SBM, France).

Если необходимо было выполнить дистальную остеотомию бедренной кости, то её делали в качестве первого этапа, чтобы избежать ошибок при коррекции механической оси конечности при процедуре, описанной в [18] с использованием системы фиксирующих пластин (DePuy Synthes Tomofix, США). У четырёх пациентов в исследовании была выраженная деформация, которая потребовала двухуровневой остеотомии.

Объединяя несколько разные группы пациентов в исследовании, мы руководствовались тем, что хирургические операции, несмотря на свою разницу, были, в первую очередь, направлены на восстановление оси конечности и снижение нагрузки на медиальный отдел коленного сустава, что является важным фактором, влияющим на стереотип походки. Подобный подход был описан в литературе [19].

Клиническая оценка

Телерентгенограммы были выполнены всем пациентам, вошедшим в исследование. Варусный угол измерялся по данным рентгеновских снимков и составил от 4° до $10,3^\circ$ (среднее = $6,52^\circ$) [20].

Были рассчитаны основные механические углы: mL DFA (механический латеральный дистальный бедренный угол), МРТА (медиальный проксимальный большеберцовый угол) и бедренно-коленно-лодыжечный индекс (БКЛИ) [20].

Оценка состояния коленного сустава проводилась с использованием оценочных шкал KSS (Knee Society Score) и KOOS (Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score) [21, 22]. Мы использовали KSS в двух частях: клинической (KSS 1) и функциональной

(KSS2). Болевой синдром оценивали с помощью визуальной аналоговой шкалы [23].

Анализ походки

Биомеханические параметры походки регистрировались с помощью инерциальной сенсорной системы (ООО «Неврокор», Москва). Было применено пять датчиков: на крестце, средней трети бедра и внешних лодыжках обеих ног. Оценка проводилась во время ходьбы по ровной поверхности (полу) в произвольном темпе. Тест длился от 30 до 60 секунд для захвата необходимого количества (20–30) циклов ходьбы для расчёта средних параметров с относительно небольшим стандартным отклонением. Из анализа были исключены дефектные шаги, упоры и повороты. Регистрировались временные и

кинематические параметры. Кинематические параметры представляли собой амплитуды и фазы движений бедра и колена и измерялись в первичном направлении движения, т.е. в сагиттальной плоскости (сгибание-разгибание).

Для тазобедренного сустава мы регистрировали максимальную амплитуду сгибания в начале фазы ходьбы ($a1$, град.) и её фазу ($x1$, %), максимальную амплитуду разгибания в конце фазы ходьбы ($a2$, град.) и её фазу ($x2$, %) (рис. 1).

Для коленного сустава мы измерили амплитуды и фазы первого сгибания ($a1$ и $x1$ соответственно), разгибания ($a2$ и $x2$ соответственно) и второго сгибания (в период качания) ($a3$ и $x3$ соответственно) (рис. 1).

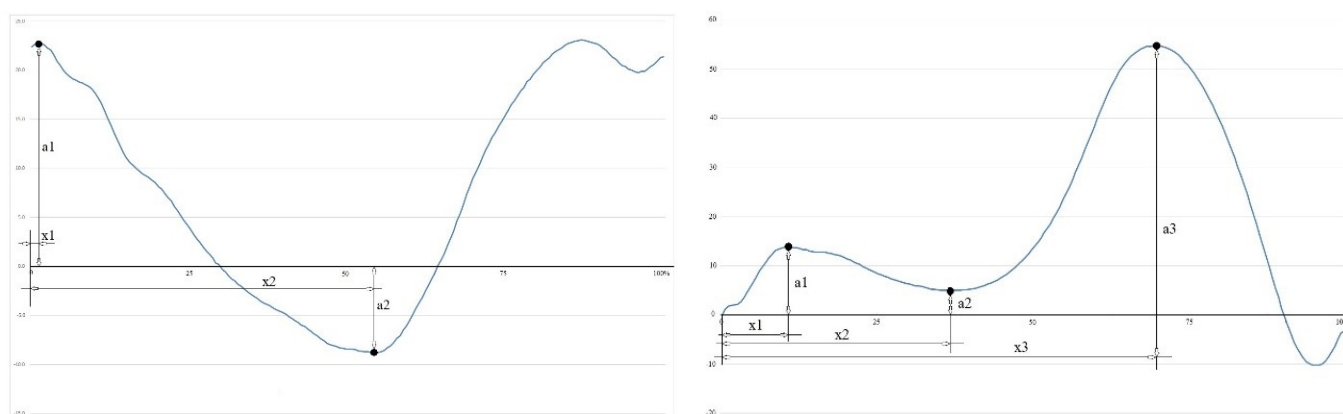


Рисунок 1. Амплитуды (a) и фазы (x) на гониограммах бедра (левый график) и коленного сустава (правый график)

Figure 1. Amplitudes (a) and phases (x) on hip goniograms (left graph) and knee joint (right graph)

Статистический анализ

Полученные данные были проанализированы с помощью ANOVA в программном обеспечении Statistica 12. Были рассчитаны медианы и квартили (25-й и 75-й процентиля). Распределение данных отличалось от нормы, поэтому значимость оценивали с помощью непараметрического критерия Вилкоксона при $p < 0,05$. Аналогичные показатели сравнивались на момент предоперационного лечения и через 6 месяцев после него, через 6 и 18 месяцев после хирургического лечения. Для оценки асимметрии сравнивались одноименные параметры одной и другой конечности.

Результаты

Сравнительный анализ клинических и рентгенологических данных, полученных в двух временных точках, т.е. через 6 и 18 месяцев после операции, показывает достоверные различия по всем параметрам ($p < 0,05$). Все показатели умеренно улучшились, при этом наибольшие улучшения наблюдались по шкале ВАШ и по показателю дефицита разгибания коленного сустава. Отсутствие изменений MPTA и mL DFA свидетельствует о сохранении коррекции, достигнутой в результате операции. За этот период

наблюдения значительно увеличилась амплитуда движений в прооперированном КС ($p < 0,05$), а также при сгибании и разгибании (табл. 2).

Изменения каждого параметра в динамике (до операции и в 6 месяцев, в 6 и 18 месяцев) статистически достоверны ($p < 0,05$). Таким образом, по мере возрастания времени от момента операции, по всем четырём параметрам имеются улучшения. Результаты биомеханических параметров представлены в таблицах 3–5.

Статистически значимых отличий одноимённых параметров конечностей обнаружено не было.

Через 6 месяцев после операции наблюдалось значительное увеличение амплитуды сгибания поражённой конечности в начале фазы стояния ($a1$) ($p = 0,034$) (табл. 4). Амплитуда разгибания бедра ($a2$) не претерпела существенных изменений.

Амплитуда движений тазобедренного сустава почти не изменились в период от 6 до 18 месяцев, за исключением улучшения фазы полного разгибания на поражённой стороне ($x2$).

Статистически значимую асимметрию до оперативного лечения имел только параметр $a2$ (разгибание). Амплитуды и фазы движений коленного сустава представлены в таблице 5.

Таблица 2. Клинические и рентгенологические данные через 6 и 18 месяцев после ОУВТО**Table 2.** Clinical and x-ray data 6 and 18 months after HTO

Параметр	До операции	Через 6 месяцев	Через 18 месяцев
MPTA	84,5° (80°-87,4°)	91,3° (88,6°-95,1°) p < 0,001#	91,3° (88,5°-95,4°) p = 0,82*
mLDA	89,1° (85,9°-96°)	88,5° (85,9°-91,0°) p < 0,001#	88,5° (85,9°-91,0°) p = 0,149*
Амплитуда сгибания	116,6° (90°-130°)	111,4° (80°-125°) p < 0,001#	121,8° (100°-130°) p < 0,001*
Дефицит разгибания	2,7° (0°-10°)	0,95° (0°-5°) p = 0,005#	0,4° (0°-2,5°) p = 0,04*

Примечание: # - отличие от значения до операции; * - разница с данными через 6 и 18 месяцев.

Таблица 3. Продолжительность цикла походки (ЦП) и момент начала движения противоположной ноги (ДПН)**Table 3.** Duration of the gait cycle and the moment when the movement of the opposite leg begins

Параметры	До операции		Через 6 месяцев		Через 18 месяцев	
	интактная	пораженная	интактная	пораженная	интактная	пораженная
Цикл походки	1,2 [1,1; 1,3] p = 0,846&	1,2 [1,1; 1,3]	1,2 [1,2; 1,3] p = 1# p = 1&	1,2 [1,2; 1,3] p = 0,758#	1,1 [1,1; 1,2] p = 0,002* p = 1&	1,1 [1,1; 1,2] p = 0,002*
Движение противоположной ноги	49,8 [49,2; 50,3] p = 0,72&	49,7 [49,3; 50,2]	49,9 [49,4; 50,1] p = 0,956# p = 0,9&	49,9 [49,6; 50,3] p = 0,522#	49,7 [49,4; 50,4] p = 0,779* p = 0,516&	49,9 [49,6; 50,3] p = 0,638*

Примечание: # - разница с данными до операции; * - разница с данными за 6 и 18 месяцев; & - разница с коллатеральной (пораженной) конечностью.

Таблица 4. Амплитуда и фазы движения бедра**Table 4.** Amplitude and phases of hip movement

Параметр	Перед операцией		Через 6 месяцев		Через 18 месяцев	
	интактная	пораженная	интактная	пораженная	интактная	пораженная
x1	3,8 [2,3; 5,7] p = 0,461&	3,8 [2; 4,6]	4,9 [2,4; 6,6] p = 0,659# p = 0,597&	4,1 [3,3; 4,9] p = 0,066#	4,6 [3,2; 6,3] p = 0,741* p = 0,338&	4,2 [3; 4,8] p = 0,531*
a1	19 [16,3; 24,1] p = 0,322&	18,3 [16,3; 20]	20 [17,2; 26,4] p = 0,825# p = 0,274&	17,5 [16,2; 22,7] p = 0,034#	23,6 [17,5; 26,5] p = 0,095* p = 0,237&	21,8 [18,9; 24,4] p = 0,063*
x2	58,3 [56,9; 60,8] p = 0,801&	59,3 [56,9; 60,1]	58,2 [56,2; 61,6] p = 0,834# p = 0,346&	59 [57,6; 61,1] p = 0,170#	57,5 [55,3; 60,1] p = 0,1* p = 0,125&	58,3 [57,3; 60,1] p = 0,01*
a2	-9,8 [-12,5; -8,8] p = 0,024&	-13 [-14,9; -10]	-11,4 [-13,4; -8,1] p = 0,326# p = 0,505&	-11 [-13,2; -7,4] p = 0,061#	-8,6 [-13,6; -6,9] p = 0,085* p = 0,345&	-11,8 [-13,3; -6,8] p = 0,972*

Примечание: # - разница с данными до операции; * - разница с данными за 6 и 18 месяцев; & - разница с коллатеральной (пораженной) конечностью.

Таблица 5. Амплитуда и фазы движений коленного сустава**Table 5.** Amplitude and phases of knee joint movements

Параметр	Перед операцией		Через 6 месяцев		Через 18 месяцев	
	интактная	пораженная	интактная	пораженная	интактная	пораженная
x1	16 [14,5; 18,2] p = 1&	16 [14,8; 18,3]	16,8 [15,1; 18,8] p = 1# p = 0,92&	16,8 [15,5; 18,9] p = 0,402#	16,8 [14,3; 19,1] p = 0,709* p = 0,597&	16,6 [13,8; 17,9] p = 0,151*
a1	17,4 [13,7; 21,2] p = 0,056&	14,4 [9; 19,13]	16,9 [15; 26,3] p = 0,48# p = 0,014&	13,1 [10,4; 19,2] p = 0,099#	17,4 [12,2; 21,2] p = 0,099* p = 0,195&	14,7 [10,4; 18,1] p = 0,867*
x2	43,9 [42,4; 45,6] p = 0,318&	41,7 [37,3; 46,2]	42,9 [38,1; 46,8] p = 0,851# p = 0,116&	39,9 [33,9; 43,8] p = 0,295#	41,6 [38,8; 44,7] p = 0,526* p = 0,083&	36,6 [32,6; 43,1] p = 0,867*
a2	9 [5,8; 11,3] p = 0,93&	8,9 [4; 12,1]	9,8 [8,7; 11,9] p = 0,152# p = 0,458&	9,6 [6,2; 12,1] p = 0,421#	9,8 [8; 11] p = 0,889* p = 0,421&	10,4 [8,7; 11,6] p = 0,313*
x3	75,8 [74,9; 77,2] p = 0,461&	75,6 [74,5; 76,3]	75,5 [74,6; 77] p = 0,93# p = 0,385&	75,3 [74,7; 76] p = 0,574#	75,4 [73,1; 76] p = 0,016* p = 0,831&	74,8 [73; 76,4] p = 0,113*
a3	62 [57,7; 68,1] p = 0,985&	64 [55,2; 69]	66,1 [58,3; 71,4] p = 0,332# p = 0,91&	66,9 [57,1; 70,2] p = 0,427#	64 [53,9; 69,3] p = 0,52* p = 0,538&	62,6 [60; 66,1] p = 0,566*

Примечание: # - разница с данными до операции; * - разница с данными за 6 и 18 месяцев; & - разница с коллатеральной (пораженной) конечностью.

Полученные данные показывают, что функция коленных суставов через 6 месяцев после операции не имеет существенных отличий от таковой до операции. Более того, при сравнении значений в 6 и 18 месяцев также не получено статистически достоверных изменений.

Данные в таблице 5 демонстрируют интересную особенность функции КС. До операции функция обеих КС была симметричной. Мы не получили ни одного статистически достоверного отличия между одноименными параметрами. Через 6 месяцев после операции амплитуда первого сгибания (a1) в самом начале ЦП, когда вес тела трансформируется с одной конечности на другую, стала ниже, чем до операции. Таким образом, эта амплитуда стала асимметричной. Через полтора года после операции отличия статистически недостоверны. Таким образом, симметрия восстановилась. Среднее значение a1 восстановилось до значения до операции.

Обсуждение

Достигнутая хирургическая коррекция остаётся стабильной через 6 и 18 месяцев после оперативного лечения.

Оценка клинических результатов ОУВТО по шкалам KOOS, KSS 1, KSS 2 и ВАШ показала значительное улучшение функции оперированного КС в периоды до операции и до 6 месяцев после операции и от 6 до 18 месяцев после операции. Улучшения были отмечены по всем показателям, при этом наибольший результат был получен при оценке функции коленного сустава по шкале KSS2, которая за период наблюдения увеличилась на 16,6 балла. Показатели по шкалам KSS1 и KOOS также показали положительную динамику, хотя и не такую значительную, как через 6 месяцев. Эти данные свидетельствуют о том, что максимальное улучшение функции КС и уменьшение боли по шкале ВАШ наблюдалось в течение первых 6 месяцев после операции; однако функция КС продолжала восстанавливаться, хотя и медленнее, в течение периода от 6 до 18 месяцев после операции. Аналогичные результаты, основанные на подсчёте баллов, описаны в статьях [22, 24].

В исследованиях Keyt L.K. и соавт., Thompson K. и соавт., Sawaguchi и соавт. оценивались результаты остеотомий, корректирующих вальгусную деформацию, через 24 месяца после операции [26-28]. Хотя период наблюдения в этих исследованиях был более длительным, чем в нашем, результаты сопоставимы с точки зрения оценки клинических результатов при помощи оценочных шкал и оценки болевого синдрома по шкале ВАШ. В работе Lawrence и соавт. аналогичные результаты были получены через 12 месяцев после операции; они также обнару-

жили незначительное уменьшение амплитуды движений через 10 лет после операции [28].

Таким образом, долгосрочные клинические результаты нашего исследования соотносятся с результатами других авторов [24-29]. Прежде всего, они включают уменьшение боли по шкале ВАШ и улучшение функции КС по шкале KOOS и KSS через 6 и 18 месяцев после ОУВТО.

Главный результат биомеханической части исследования в том, что функция КС, как и функция ходьбы, почти не изменяется ни через 6, ни через 18 месяцев после операции.

Незначительное сокращение продолжительности цикла походки через 18 месяцев после операции, наряду с неизменной амплитудой движений в тазобедренном и коленном суставах, позволяет предположить, что скорость ходьбы может быть увеличена. Исследование Morin и соавт. показало, что ключевые пространственно-временные параметры походки оставались неизменными через год после операции по коррекции, но данных о кинематике сустава не было [9]. Другое исследование, проведённое в 2017 году van Egmond N. и соавт., также подтвердило отсутствие изменений пространственно-временных параметров через год после операции по сравнению с дооперационным периодом [30]. Однако кинематика оперированного КС показала снижение амплитуды первого сгибания через 6 месяцев (обозначено здесь как a1) и амплитуды разгибания (a2), в то время как амплитуда размашистого сгибания (a3) осталась прежней. В работе van Egmond N. и соавт. (2017) через 12 месяцев после операции было отмечено некоторое ухудшение функции оперированного КС по сравнению с дооперационным периодом [30]. Кроме того, в течение следующих 12 месяцев произошли некоторые незначительные улучшения. Эти результаты согласуются с исследованием Lind M. и соавт. (2013), в котором сообщается об аналогичных изменениях в кинематике оперированного колена через 12 месяцев после операции [10].

В нашем исследовании мы обнаружили, что за 6 месяцев после операции коленный сустав ещё не успевает восстановиться. Его функция остаётся незначительно асимметричной за счёт снижения амплитуды a1. В последующий год эта амплитуда возрастает до предоперационной.

В то время как клинические данные демонстрируют очевидное улучшение ряда клинических параметров, биомеханические данные свидетельствуют лишь о незначительных, хотя и положительных функциональных изменениях.

Таким образом, мы можем наблюдать некоторую разницу в оценке динамики восстановления, основанной на клинических и биомеханических показателях. В то время как клинические показатели про-

демонстрировали значительное улучшение, анализ походки и кинематики КС не выявил практически никаких изменений за период наблюдения. Поскольку отмеченное улучшение было в целом основано на субъективных оценках (ВАШ, KOOS и KSS2), полученных самими пациентами, это в основном можно объяснить значительным психологическим улучшением и повышением переносимости нагрузки на оперированную конечность, а не каким-либо клиническим (объективным) улучшением. При оценке по KSS1 улучшение было в основном связано с увеличением амплитуды сгибания в положении лёжа. Гипотеза исследования не подтвердилась. Функциональные биомеханические параметры остаются практически неизменными после ОУВТО.

Данное исследование имеет определённые ограничения. Индивидуальные отличия, которые имеют пациенты, намного сильнее сказываются на значении биомеханических параметров, которые более чувствительны к нюансам функционального состояния. По этой причине индивидуальная вариабельность функционального результата оперативного лечения оказалась достаточно высока. Период восстановления (реабилитации), несмотря на единый подход, имел индивидуальные отличия. У нас не отмечено послеоперационных осложнений, но количество и качество восстановительного лечения имело индивидуальную вариабельность. Технически не представлялось возможным обеспечить всех пациентов реабилитацией по единому стандарту.

Также в нашем исследовании одним из ограничивающих моментов являлось отсутствие оценки функционального состояния и степени ОА контрлатерального КС.

Исследование позволяет предположить, что биомеханический анализ походки в будущем должен занимать более существенную роль в рутинном клиническом исследовании пациентов как до операции, так и особенно в первые месяцы реабилитации.

Заключение

Согласно данным исследования, в отдалённом периоде наблюдения отмечалось умеренное клиническое улучшение по оценке ВАШ, KOOS и KSS. Биомеханические изменения были незначительными и проявлялись в уменьшении продолжительности цикла походки, что косвенно указывает на увеличение скорости ходьбы. Таким образом, мы получили несоответствие между динамикой клинических и биомеханических параметров. Клинические параметры продолжают улучшаться через полгода после оперативного лечения, в то время, как функциональные биомеханические параметры остаются почти неизменными весь период наблюдения.

Отмеченные изменения биомеханики ходьбы дают возможность предположить, что в первые 6 месяцев пациенты нуждаются в более интенсивной реабилитации с контролем биомеханических параметров.

Литература [References]

- 1 Fujisawa Xie K., Han X., Jiang X. et al. The effect of varus knee deformities on the ankle alignment in patients with knee osteoarthritis. *J Orthop Surg Res.* 2019;14:134. <https://doi.org/10.1186/s13018-019-1191-0>
- 2 Whatling G.M., Biggs P. R., Elson D.W., Metcalfe A., Wilson C., Holt C. High tibial osteotomy results in improved frontal plane knee moments, gait patterns and patient-reported outcomes. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy: official journal of the ESSKA.* 2020;28(9):2872-2882. <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05644-7>
- 3 Gao L, Madry H, Chugaev DV, Denti M, Frolov A, Burtsev M, Magnitskaya N, Mukhanov V, Neyret P, Solomin LN, Sorokin E, Staubli AE, Stone KR, Vilenskiy V, Zayats V, Pape D, Korolev A. Advances in modern osteotomies around the knee: Report on the Association of Sports Traumatology, Arthroscopy, Orthopaedic surgery, Rehabilitation (ASTAOR) Moscow International Osteotomy Congress 2017. *J Exp Orthop.* 2019 Feb 25;6(1):9. <https://doi.org/10.1186/s40634-019-0177-5>. PMID: 30805738; PMCID: PMC6389998.
- 4 Murray R., Winkler P.W., Shaikh H.S., Musahl V. High Tibial Osteotomy for Varus Deformity of the Knee. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons. Global research & reviews.* 2021;5(7):e21.00141. <https://doi.org/10.5435/JAAOSGlobal-D-21-00141>
- 5 Peng H., Ou A., Huang X., Wang C., Wang L., Yu T., Zhang Y., Zhang Y. Osteotomy Around the Knee: The Surgical Treatment of Osteoarthritis. *Orthopaedic surgery.* 2021;13(5):1465-1473. <https://doi.org/10.1111/os.13021>
- 6 Sarwar S, Lu J, Marcella C, Ming-liang J. Indications and clinical outcomes of High Tibial Osteotomy: a literature review. *J Orthoped Muscular Syst.* 2019;2(1):1007.
- 7 Sabzevari S., Ebrahimpour A., Roudi M.K., Kachoei A.R. High Tibial Osteotomy: A Systematic Review and Current Concept. *The archives of bone and joint surgery.* 2016;4(3):204-212.
- 8 Black MS, d'Entremont AG, McCormack RG, Hansen G, Carr D, Wilson DR. The effect of wedge and tibial slope angles on knee contact pressure and kinematics following medial opening-wedge high tibial osteotomy. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2018 Jan;51:17-25. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2017.10.021> Epub 2017 Nov 2. PMID: 29154178.
- 9 Morin V., PailheR., DuvalB. R. et al. Gait analysis following medial opening-wedge high tibial osteotomy. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy.* 2017;26(6):1838-1844. <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4421-1>
- 10 Lind M, McClelland J, Wittwer JE, Whitehead TS, Feller JA, Webster KE. Gait analysis of walking before and after medial opening wedge high tibial osteotomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21:74-81. <https://doi.org/10.1007/s00167-011-1496-y>.
- 11 Liu X., Chen Z., Gao Y., Zhang J., Jin Z. High Tibial Osteotomy: Review of Techniques and Biomechanics. *Journal of healthcare engineering.* 2019;2019:8363128. <https://doi.org/10.1155/2019/8363128>
- 12 Bode G., von Heyden J., Pestka J., Schmal H., Salzmann G., Südkamp N., Niemeyer P. Prospective 5-year survival rate data following open-wedge valgus high tibial osteotomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015 Jul;23(7):1949-55. <https://doi.org/10.1007/s00167-013-2762-y>

- 13 Da Silva HGPV, Zorzi AR, da Silva HPV, de Miranda JB. Gait analysis in short-term follow-up of medial opening wedge high tibial osteotomy. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2018;28(5):939-946. <https://doi.org/10.1007/s00590-017-2099-1>
- 14 Da Cunha R.J., Kraszewski A.P., Hillstrom H.J., Fragomen A.T., Rozbruch S.R. Biomechanical and Functional Improvements Gained by Proximal Tibia Osteotomy Correction of Genu Varum in Patients with Knee Pain. *HSS journal : the musculoskeletal journal of Hospital for Special Surgery*. 2020;16(1):30-38. <https://doi.org/10.1007/s11420-019-09670-6>
- 15 Skvortsov D, Kaurkin S, Prizov A, Altukhova A, Goncharov E, Nikitin A. Gait analysis and knee joint kinematics before and 6 month after of corrective valgus osteotomy at patients with medial knee arthritis. *Int Orthop*. 2022 Apr 13. <https://doi.org/10.1007/s00264-022-05370-9>
- 16 Skvortsov D., Kaurkin S., Prizov A., Altukhova A., Troitskiy A., Lazko F. Biomechanical Changes in Gait Patterns of Patients with Grade II Medial Gonarthrosis. *Diagnostics*. 2021;11:1242. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11071242>
- 17 Leitch K.M., Birmingham T.B., Dunning C.E., Giffin J.R. Medial opening wedge high tibial osteotomy alters knee moments in multiple planes during walking and stair ascent. *Gait & Posture*. 2015;42(2):165-171. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2015.05.005>
- 18 Saragaglia D., Mercier N., Colle P.E. Computer-assisted osteotomies for genu varum deformity: which osteotomy for which varus? *Int Orthop*. 2010 Feb;34(2):185-90. <https://doi.org/10.1007/s00264-009-0757-6>. Epub 2009 Mar 21.
- 19 Saragaglia D., Nemer C., Colle P.E. Computer-assisted double level osteotomy for severe genu varum. *Sports Med Arthrosc Rev*. 2008 Jun;16(2):91-6. <https://doi.org/10.1097/JSA.0b013e318172b562>
- 20 Fürmetz J., Patzler S., Wolf F. et al. Tibial and femoral osteotomies in varus deformities - radiological and clinical outcome. *BMC Musculoskelet*. 2020;21:201. <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03232-2>
- 21 Huang J., Tian F, Zhang Z, Shi W, Lin J, Chen L, Yang H. Reliability and concurrent validity of angle measurements in lower limb: EOS 3D goniometer versus 2D manual goniometer. *Journal of Orthopaedic Translation*. 2020;24:96-102.
- 22 Collins NJ, Misra D, Felson DT, Crossley KM, Roos EM. Measures of knee function: International Knee Documentation Committee (IKDC) Subjective Knee Evaluation Form, Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS), Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score Physical Function Short Form (KOOS-PS), Knee Outcome Survey Activities of Daily Living Scale (KOS-ADL), Lysholm Knee Scoring Scale, Oxford Knee Score (OKS), Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC), Activity Rating Scale (ARS), and Tegner Activity Score (TAS). *Arthritis Care Res (Hoboken)*. 2011 Nov;63 Suppl 11(0 11):S208-28. <https://doi.org/10.1002/acr.20632> PMID: 22588746; PMCID: PMC4336550.
- 23 Odum SM, Fehring TK; Knee Society Crosswalk Writing Group. Can Original Knee Society Scores Be Used to Estimate New 2011 Knee Society Scores? *Clin Orthop Relat Res*. 2017 Jan;475(1):160-167. <https://doi.org/10.1007/s11999-016-4886-0>. PMID: 27178041; PMCID: PMC5174033
- 24 Huskisson, E.C. Measurement of pain. *Lancet*. 1974;304:1127-1131.
- 25 Habib MK, Khan ZA. Radiological, functional, and anatomical outcome in patients with osteoarthritic knee undergoing high tibial osteotomy. *SICOT J*. 2019;5:12. <https://doi.org/10.1051/sicotj/2019009>. Epub 2019 May 3. PMID: 31050336; PMCID: PMC6498865.
- 26 Keyt LK, Hevesi M, Levy BA, Krych AJ, Camp CL, Stuart MJ. High Tibial Osteotomy with a Modern Polyetheretherketone (PEEK) System: Mid-Term Results at a Mean of 6 Years Follow-Up. *J Knee Surg*. 2020 Nov 23. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1721090>. Epub ahead of print. PMID: 33231279.
- 27 Thompson KA, Darden CN, Katsman A, Alaia MJ, Strauss EJ, Jazrawi LM. Short-Term Clinical Outcomes of High Tibial Osteotomy with the iBalance HTO System. *Bull Hosp Jt Dis*. (2013). 2019 Dec;77(4):256-262. PMID: 31785139.
- 28 Sawaguchi T, Takeuchi R, Nakamura R et al. Outcome after treatment of osteoarthritis with open-wedge high-tibial osteotomy with a plate: 2-year results of a Japanese cohort study. *Journal of Orthopaedic Surgery*. January 2020. <https://doi.org/10.1177/230949901988799>
- 29 Lawrence C.M. Lau, Jason C.H. Fan, Kwong-Yin Chung et al. Satisfactory long-term survival, functional and radiological outcomes of open-wedge high tibial osteotomy for managing knee osteoarthritis: Minimum 10-year follow-up study. *Journal of Orthopaedic Translation*. 2021;26:60-66. <https://doi.org/10.1016/j.jot.2020.03.003>
- 30 van Egmond N, Stolwijk N, van Heerwaarden R, van Kampen A, Keijsers Gait analysis before and after corrective osteotomy in patients with knee osteoarthritis and a valgus deformity. *NLW. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2017 Sep;25(9):2904-2913. <https://doi.org/10.1007/s00167-016-4045-x>

Авторская справка

Призов Алексей Петрович

Д-р мед. наук, профессор кафедры травматологии и ортопедии, Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы; врач травматолог-ортопед отделения травматологии и ортопедии, Городская клиническая больница им. В.М. Буянова.
ORCID 0000-0003-3092-9753e-mail: aprizov@yandex.ru
Вклад автора: концептуализация, методология, редактирование.

Загородний Николай Васильевич

Д-р мед. наук, профессор, академик РАН, зав. кафедрой травматологии и ортопедии, Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы.
ORCID 0000-0002-6736-9772; zagorodniy51@mail.ru
Вклад автора: исследование, обработка и сбор данных, написание первоначального проекта.

Востриков Анатолий Максимович

Аспирант кафедры травматологии и ортопедии, Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы.
ORCID 0009-0005-7484-3363; a.vos3kov@yandex.ru
Вклад автора: методология, валидация, формальный анализ.

Author's reference

Aleksey P. Prizov

Dr. Sci. (Med.), Professor of the Department of Traumatology and Orthopedics, Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia; Traumatologist-orthopedist of the Department of Traumatology and Orthopedics, City Clinical Hospital named after V.M. Buyanov.
ORCID 0000-0003-3092-9753e-mail: aprizov@yandex.ru
Author's contribution: conceptualization, methodology, editing.

Nikolay V. Zagorodniy

Dr. Sci. (Med.), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Traumatology and Orthopedics, Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia.
ORCID 0000-0002-6736-9772; zagorodniy51@mail.ru
Author contribution: research, data processing and collection, writing the initial draft.

Anatoliy M. Vostrikov

Postgraduate student, Department of Traumatology and Orthopedics, Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia.
ORCID 0009-0005-7484-3363; a.vos3kov@yandex.ru
Author contribution: methodology, validation, formal analysis.

Скворцов Дмитрий Владимирович

Д-р мед. наук, профессор, зав. лабораторией, Федеральный научно-клинический центр ФМБА России.

ORCID 0000-0002-2794-4912; dskvorts63@mail.ru

Вклад автора: редактирование, написание, формальный анализ.

Айрапетов Георгий Александрович

Д-р мед. наук, профессор кафедры травматологии и ортопедии, Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы.

ORCID 0000-0001-7507-7772; airapetovga@yandex.ru

Вклад автора: формальный анализ и редактирование.

Лазко Федор Леонидович

Д-р мед. наук, профессор кафедры травматологии и ортопедии, Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы; врач травматолог-ортопед отделения травматологии и ортопедии, Городская клиническая больница им. В.М. Буянова.

ORCID: 0000-0001-5292-7930; fedor_lazko@mail.ru

Вклад автора: сбор данных.

Ахпасhev Александр Анатольевич

Канд. мед. наук, доцент кафедры травматологии и ортопедии, Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы.

ORCID 0000-0002-2938-5173; akhpashev@yandex.ru

Вклад автора: общий контроль, сбор данных.

Алтухова Алена Владимировна

Врач реабилитолог, Федеральный научно-клинический центра ФМБА России.

ORCID 0000-0003-3777-6294; altukhova.aa@bk.ru

Вклад автора: обследование пациентов, анализ данных.

Dmitriy V. Skvortsov

Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of Laboratory, Federal Research and Clinical Centre of Russia's Federal Medical-Biological Agency.

ORCID 0000-0002-2794-4912; dskvorts63@mail.ru

Author contribution: editing, writing, formal analysis.

Georgiy A. Ayrapetov

Dr. Sci. (Med.), Professor, Department of Traumatology and Orthopedics, Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia.

ORCID 0000-0001-7507-7772; airapetovga@yandex.ru

Author's contribution: formal analysis and editing.

Fedor L. Lazko

Dr. Sci. (Med.), Professor, Department of Traumatology and Orthopedics, Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia; traumatologist-orthopedist, Department of Traumatology and Orthopedics, City Clinical Hospital named after V.M. Buyanov.

ORCID: 0000-0001-5292-7930; fedor_lazko@mail.ru

Author's contribution: data collection.

Aleksandr A. Akhpashev

Cand. Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Traumatology and Orthopedics, Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia.

ORCID 0000-0002-2938-5173; akhpashev@yandex.ru

Author's contribution: general control, data collection.

Alena V. Altukhova

Rehabilitation physician, Federal Research and Clinical Centre of Russia's Federal Medical-Biological Agency.

ORCID 0000-0003-3777-6294; altukhova.aa@bk.ru

Author's contribution: patient examination, data analysis.