

Динамика параметров ходьбы в процессе реабилитации после тотального эндопротезирования коленного сустава

Скворцов Д.В.^{1,2}, Королева С.В.³

¹ФГБОУ «Федеральный научный клинический центр» ФМБА России, Москва, Россия; ²ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова», Москва, Россия; ³ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия» ГПС МЧС России, Иваново, Россия

¹115682, Москва, Ореховый бульвар, 28;

²127299, Москва, ул. Приорова 10;

³153040, Иваново, пр-т Строителей, 33

¹Federal Research Clinical Center, Federal Biomedical Agency of Russia, Moscow, Russia;

²N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia; ³Ivanovo Fire and Rescue Academy, Fire Service, Ministry of Emergency Situations of Russia, Ivanovo, Russia
¹28; Orekhovy Boulevard, Moscow 115682; ²10, Priorov St., Moscow 127299; ³33, Stroiteley Pr., Ivanovo 153040

Контакты:

Дмитрий Владимирович Скворцов;
skvortsov.biom@gmail.com

Contact:

Dmitry Skvortsev;
skvortsov.biom@gmail.com

Поступила 10.09.19

Эндопротезирование (ЭП) коленных суставов (КС) — экономически эффективный и надежный метод лечения гонартрита с прогнозируемым увеличением спроса. Системы клинической оценки эффективности реабилитации не в полной мере отражают процесс восстановления, а наиболее объективной является оценка биомеханических параметров ходьбы.

Цель исследования — изучение динамики биомеханических параметров ходьбы после ЭП КС по поводу остеоартрита.

Материал и методы. В ОБУЗ «Ивановский областной госпиталь для ветеранов войн» обследовано 54 пациента (31 женщина и 23 мужчины; средний возраст — $63,86 \pm 1,69$ года) в среднем через $3,94 \pm 1,40$ мес после ЭП КС. Группа контроля — 49 человек (28 женщин и 21 мужчина; средний возраст — $34,6 \pm 8,8$ года). Исследование функции ходьбы выполнялось трижды — при поступлении, через неделю и через 2 нед по окончании курса. Регистрация параметров ходьбы проводилась с помощью тренажера ходьбы с биологической обратной связью «Стэдис» (ООО «Нейрософт», Иваново, Россия) в комплектации «Оценка» (регистрационное удостоверение №РЗН 2018/7458 от 07.08.2018 г.). Результаты обработаны с применением стандартных методов медико-биологической статистики при уровне значимости 5%.

Результаты и обсуждение. В раннем восстановительном периоде ходьба больных после ЭП КС характеризуется снижением скорости, наличием симптоматики разгрузки и незначительной асимметрией показателей функции нижних конечностей. Выявленные феномены свидетельствуют как о положительной динамике процесса восстановления в целом, так и о нормализации временной структуры цикла шага. Установлено, что скорость ходьбы и длительность периода двойной опоры не восстанавливались через 3 мес после ЭП КС. Основные биомеханические изменения носят неспецифический характер и связаны с уменьшением скорости ходьбы. Высказано предположение, что лечебная физкультура должна быть направлена в основном на увеличение длины шага при контроле динамических нагрузок. Критерием эффективности реабилитации является уменьшение асимметрии при ходьбе.

Ключевые слова: реабилитация; эндопротезирование; коленный сустав; биомеханика ходьбы.

Для ссылки: Скворцов ДВ, Королева СВ. Динамика параметров ходьбы в процессе реабилитации после тотального эндопротезирования коленного сустава. Научно-практическая ревматология. 2019;57(6):704-707.

CHANGES IN GAIT PARAMETERS DURING REHABILITATION AFTER TOTAL KNEE ARTHROPLASTY

Skvortsov D.V.^{1,2}, Koroleva S.V.³

Knee arthroplasty (KAP) is a cost-effective and reliable treatment for knee osteoarthritis with the predicted increase in demand. Clinical assessment systems for the effectiveness of rehabilitation do not fully reflect the recovery process, but the evaluation of biomechanical gait parameters is most objective.

Objective: to study of the changes in the biomechanical gait parameters after KAP for osteoarthritis.

Subjects and methods. A total of 54 patients (31 women and 23 men; mean age, 63.86 ± 1.69 years) were examined an average of 3.94 ± 1.40 months after KAP at the Ivanovo Regional Hospital for War Veterans. A control group consisted of 49 people (28 women and 21 men; mean age, 34.6 ± 8.8 years). Walking performance was studied three times: at admission, one and two weeks after the end of a cycle. Gait parameters were recorded using a Stedis feedback walking simulator (ООО «Neurosoft», Ivanovo, Russia) in the Assessment package (Registration certificate No. P3H 2018/7458 dated 08.07.2018). The results were processed using the standard biomedical statistical methods at a significance level of 5%.

Results and discussion. In the early recovery period, the patients' walking after KAP was characterized by decreased speed, by the symptoms of unloading, and by a slight lower extremity functional asymmetry. The revealed phenomena were suggestive of both positive changes in the recovery process as a whole and the normalization of the temporal pattern of a step cycle. It was established that walking speed and the double support period of gait were not restored 3 months after KAP. The main biomechanical changes were non-specific and were associated with reduced walking speed. It was suggested that physical therapy should be aimed mainly at increasing the stride length when controlling dynamic loads. The criterion for the effectiveness of rehabilitation was to reduce asymmetry when walking.

Keywords: rehabilitation; arthroplasty; knee joint; biomechanics of walking.

For reference: Skvortsov DV, Koroleva SV. Changes in gait parameters during rehabilitation after total knee arthroplasty. Nauchno-Prakticheskaya Revmatologiya = Rheumatology Science and Practice. 2019;57(6):704-707 (In Russ.).

doi: 10.14412/1995-4484-2019-704-707

Из всех заболеваний опорно-двигательной системы остеоартрит (ОА) представляет наиболее сложную социально-экономиче-

скую и медицинскую проблему. Увеличивающаяся средняя продолжительность жизни в популяции привела к тому, что ОА стал од-

ним из самых распространенных в обществе заболеваний. Основной причиной развития ОА является несоответствие между механической нагрузкой, приходящейся на хрящ, и его способностью сопротивляться данной нагрузке. Поэтому наиболее частой локализацией заболевания является один из самых нагружаемых суставов — коленный (КС). ОА КС является одной из наиболее распространенных причин инвалидности в мире (20–40% у лиц старше 75 лет) [1, 2]. Эндопротезирование (ЭП) КС оказалось экономически эффективным и надежным методом лечения ОА КС, что делает его одним из самых распространенных оперативных вмешательств на суставах, выполняемых ежегодно, с прогнозируемым увеличением спроса [3–5].

Наиболее востребованными при оценке функциональных результатов ЭП КС в клинической практике являются методы, применимые при многопрофильном, многоцентровом ведении пациентов врачами разных специальностей, что делает программу реабилитации унифицированной. В конечном итоге, все методы лечения ОА, в том числе ЭП КС, направлены на уменьшение боли и увеличение объема движений в суставе, что, в свою очередь, улучшает качество жизни пациентов. Несмотря на поиск и внедрение новых методов обследования и визуализации, до настоящего времени для этого наиболее часто используются: визуальная аналоговая шкала боли (ВАШ); различные опросники и шкалы [6–10]; измерение окружности бедра, голени и КС; рентгенологическое и ультразвуковое исследование (УЗИ) КС; электромиография четырехглавой мышцы бедра (опосредованно определяющей интенсивность боли); определение амплитуды движений в оперированном суставе [10, 11]; 3D-методы визуализации КС.

Известно большое число различных опросников и тестов, в том числе модифицированных. Наиболее часто используются индекс мобильности Ривермид (Rivermead Mobility Index), динамический индекс походки (Dynamic Gait Index), индекс ходьбы Хаузера (S. Hauser), шкала функциональной независимости FIM.

Следует отметить, что ряд индексов (например, WOMAC, активно используемый ревматологами) не в полной мере отражают функцию КС, так как ряд вопросов непонятны пациентам и могут трактоваться двояко (например, удобство использования душевой кабины или ванны, тяжесть работы по дому).

Наиболее объективную информацию можно получить при оценке биомеханических параметров ходьбы, но до недавнего времени эта технология имела очень высокую стоимость [12, 13]. В доступной литературе имеется незначительное количество исследований, посвященных анализу параметров ходьбы после ЭП КС. В частности, в исследовании A.R. Ahmed и соавт. [14] отмечается, что основные параметры ходьбы не восстанавливаются на дооперационном уровне у больных, прошедших 6-недельный курс реабилитации. M.C. Liebensteiner и соавт. [15] показали, что через 3 мес после ЭП КС длина шага, скорость ходьбы и длительность периода двойной опоры (ДО) восстанавливаются до значений, имевшихся до оперативного лечения. В этой же работе авторы отмечают, что, хотя и имеется определенное соответствие между результатом клинической оценки и регистрируемыми параметрами походки, анализ биомеханики походки в качестве объективного параметра определенно должен быть использован.

Цель исследования — изучение динамики биомеханических параметров ходьбы после ЭП КС по поводу ОА.

Материал и методы

Обследовано 54 пациента (31 женщина и 23 мужчины; средний возраст — $63,86 \pm 1,69$ года) в ОБУЗ «Ивановский областной госпиталь для ветеранов войн». Больные поступили на курс реабилитации в среднем через $3,94 \pm 1,40$ мес после операции ЭП КС. В группу контроля включено 49 человек (28 женщин и 21 мужчина; средний возраст — $34,6 \pm 8,8$ года), без жалоб со стороны опорно-двигательной системы.

Стационарное лечение включало в себя групповую лечебную физкультуру, нестероидные противовоспалительные препараты в терапевтической дозировке, занятия на тренажерах.

Исследование функции ходьбы проводилось трижды — при поступлении, через неделю и через 2 нед по окончании курса. Регистрация параметров ходьбы проводилась с помощью тренажера ходьбы с биологической обратной связью «Стэдис» (ООО «Нейрософт», Россия) в комплектации «Оценка» (регистрационное удостоверение №РЗН 2018/7458 от 07.08.2018 г.). Анализировались временные параметры цикла шага (ЦШ), время ЦШ в секундах; периоды ЦШ: опоры (ПО%), одиночной опоры (ОО%), ДО%, начало второй ДО (НВДО%); пространственные параметры ходьбы: длина цикла шага (ДЦШ, см), усредненная для правого и левого ЦШ, скорость ходьбы (СХ, км/ч).

При анализе учитывались амплитуды фронтального сгибания и вращения, что обусловлено доказанным [16] значением фронтальных девиаций для прогрессирования дегенеративного процесса в КС, а усиление вращения свидетельствует о вовлечении более «высокого» уровня компенсации в иерархии опорно-двигательной системы.

Критерии включения в основную группу: пациент после ЭП КС в сроки ≤ 4 мес после операции, способный к самостоятельному передвижению без средств дополнительной опоры. **Критерии исключения:** наличие сопутствующей патологии, значимо влияющей на алгоритм походки (нарушения мозгового кровообращения, гипертоническая болезнь, вестибулярные расстройства и т. п.), наличие болевого синдрома со стороны опорно-двигательного аппарата других локализаций, наличие эндопротезов других локализаций. Также из исследования исключены пациенты при наличии в неоперированном КС рентгенологических признаков ОА 3-й стадии и выше (из-за формирования парадоксальных механизмов опоры) [16].

Исследование проводилось при произвольных темпе и скорости ходьбы, комфортных для пациента на момент исследования. Длительность регистрации ходьбы по ровной поверхности составила во всех пробах 2 мин. В ходе исследования отказов от обследования по причинам усиления боли, невозможности пройти тест полностью или возникшим субъективным неудобствам не было.

Для проведения описательного, дисперсионного и корреляционного анализа в экспериментальной группе применялись методы непараметрической статистики (тест Уилкоксона, метод знаков при сравнении двух совокупностей, ранговая корреляция R Спирмена, тау Кен-

далла, Гамма). Уровень значимости был принят для доверительного интервала 5%. Результаты представлены как среднее арифметическое \pm ошибка среднего ($M \pm m$). Для обработки результатов использовались стандартные пакеты прикладных программ в составе Microsoft Excel 8.0 и StatPlus Pro 5.9.

Результаты

Биомеханические показатели ходьбы за три последовательных исследования представлены в таблице.

Длительность ЦШ в основной группе соответствовала медленной ходьбе в первом и втором исследованиях, в третьем она не отличалась от контроля. Длительность ПО в основной группе оказалась выше, чем в контрольной. Но значимые различия наблюдались только в первом исследовании для НК. При этом в первом и втором исследованиях была выявлена асимметрия между ОК и НК, которой уже не наблюдалось в третьем исследовании. Период ОО значимо различался для ОК и НК в первом и третьем исследованиях, а также для ОК и контроля во всех трех исследованиях. Период ДО в основной группе был значимо увеличен по сравнению с контролем во всех трех исследованиях. Несмотря на незначительные отличия, показатель НВДО достоверно асимметричен во всех трех исследованиях. Показатель ДЦШ в основной группе значительно уменьшен по сравнению с контролем также во всех трех исследованиях, как и СХ.

В первом и третьем исследованиях наблюдались значимые различия длительности ЦШ, симметрично для обеих сторон, и СХ ($p < 0,05$).

У обследованных пациентов наблюдался феномен «семенящей походки»: при почти нормальной длительно-

сти ЦШ, отмечена укороченная длина шага и, соответственно, низкая СХ. При снижении СХ показатель ПО увеличивается, ОО снижается и, соответственно, возрастает период ДО. Таким образом, биомеханику ходьбы после ЭП КС можно охарактеризовать как «ходьбу с малой длиной шага и симптомами разгрузки», которые имеют незначительную асимметрию.

Обсуждение

Полученные нами объективные данные демонстрируют феномен перераспределения функций [17], когда пораженная конечность имеет меньший ПО, чем здоровая, и, соответственно, период переноса увеличивается в первом случае и сокращается во втором. В третьем исследовании ПО ОК и НК существенно не различался. Выявленные особенности свидетельствуют как о положительной динамике процесса восстановления в целом, так и о нормализации временной структуры ЦШ. Однако следует подчеркнуть, что в нашем исследовании СХ и длительность ДО не восстанавливались через 3 мес после ЭП КС, что отмечалось и в других работах [15]. Данный результат указывает на необходимость дальнейшего изучения биомеханики ходьбы, в том числе в отдаленный период после ЭП КС.

В целом, полученные данные демонстрируют не столько специфические изменения, связанные с ЭП КС, сколько неспецифические. И прежде всего это уменьшение СХ. Можно утверждать, что все остальные изменения выступают в качестве опосредованного его проявления. Если принять во внимание практически нормальные значения ЦШ, становится понятным, что снижение СХ происходит почти исключительно за счет уменьшения длины шага. Поэтому для данного контин-

гента больных будет полезно использование различных упражнений, направленных на ее увеличение. При этом следует обратить особое внимание медицинского персонала на необходимость контроля динамических нагрузок, которые возрастают пропорционально длине шага.

Таким образом, критериями эффективности проводимой клинической реабилитации на основе объективных детерминант ходьбы можно считать уменьшение асимметрии при ходьбе, которое обеспечивает более благоприятное течение восстановительного периода.

Заключение

Для обоснованного выбора методов лечения и эффективных технологий реабилитации при многопрофильном, в том числе многоцентровом, ведении пациентов с патологией опорно-двигательной системы следует учитывать объективные показатели функций ходьбы.

В раннем восстановительном периоде ходьба больных после ЭП КС характеризуется снижением

Биомеханические показатели ходьбы до начала (1), в середине (2) и по окончании (3) курса реабилитации ($n=54$), $M \pm m$

Параметр	Номер исследования	ОК	НК	Контроль
Длительность ЦШ, с	1	1,35 \pm 0,03 ^а	1,34 \pm 0,03 ^а	
	2	1,29 \pm 0,03 ^а	1,29 \pm 0,03 ^а	1,06 \pm 0,01
	3	1,22 \pm 0,03 ^в	1,22 \pm 0,03 ^в	1,06 \pm 0,01
ПО, %	1	67,42 \pm 0,88	69,92 \pm 0,62 ^{* а}	
	2	66,30 \pm 0,77	68,94 \pm 0,75 [*]	62,25 \pm 0,21
	3	66,08 \pm 0,65	67,89 \pm 0,68	62,73 \pm 0,18
ОО, %	1	30,08 \pm 0,63 ^а	32,56 \pm 0,90 ^{* а}	
	2	31,06 \pm 0,76 ^а	33,68 \pm 0,78	37,29 \pm 0,18
	3	32,07 \pm 0,69 ^а	33,96 \pm 0,64 [*]	37,75 \pm 0,20
ДО, %	1	37,35 \pm 1,17 ^а	37,36 \pm 1,18 ^а	
	2	35,26 \pm 1,11 ^а	35,26 \pm 1,11 ^а	24,97 \pm 0,36
	3	34,01 \pm 1,02 ^а	33,94 \pm 1,01 ^а	24,99 \pm 0,36
НВДО, %	1	49,43 \pm 0,53	50,79 \pm 0,53 [*]	
	2	49,13 \pm 0,46	51,03 \pm 0,46 [*]	49,77 \pm 0,08
	3	49,53 \pm 0,37	50,64 \pm 0,38 [*]	50,25 \pm 0,08
ДЦШ, см	1		84,52 \pm 3,60 ^а	
	2		89,12 \pm 2,58 ^а	137,46 \pm 2,05
	3		93,44 \pm 2,51 ^а	
СХ, км/ч	1		2,37 \pm 0,10 ^а	
	2		2,56 \pm 0,10 ^а	4,66 \pm 0,08
	3		2,85 \pm 0,10 ^{в а}	

Примечания. ОК – оперированная конечность, НК – не оперированная конечность. В группе контроля: верхнее значение – для левой, нижнее – для правой ноги. * – $p < 0,05$ между ОК и НК; ^в – $p < 0,05$ по сравнению с аналогичным показателем первого исследования; ^а – $p < 0,05$ по сравнению аналогичным показателем контрольной группы.

скорости, наличием симптоматики разгрузки и незначительной асимметрией показателей функции нижних конечностей. Короткий курс восстановительного лечения позволяет устранить асимметрию. В последующем необходимы мероприятия по восстановлению нормальной длины шага.

Прозрачность исследования

Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы несут полную ответственность за предоставление окончательной версии рукописи в печать.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fryzowicz A, Murawa M, Kabacinski J, et al. Reference values of spatiotemporal parameters, joint angles, ground reaction forces, and plantar pressure distribution during normal gait in young women. *Acta Bioeng Biomech.* 2018;20(1):49-57.
2. Richards RE, Andersen MS, Harlaar J, van den Noort JC. Relationship between knee joint contact forces and external knee joint moments in patients with medial knee osteoarthritis: Effects of gait modifications. *Osteoarthritis Cartilage.* 2018 Apr 28. doi: 10.1016/j.joca.2018.04.011
3. Lim SY, Lee WH. Effects of pelvic range of motion and lower limb muscle activation pattern on over-ground and treadmill walking at the identical speed in healthy adults. *J Phys Ther Sci.* 2018 Apr;30(4):619-24. doi: 10.1589/jpts.30.619
4. Hinkel-Lipsker JW, Hahn ME. Coordinative structuring of gait kinematics during adaptation to variable and asymmetric split-belt treadmill walking — A principal component analysis approach. *Hum Mov Sci.* 2018 Apr 25;59:178-92. doi: 10.1016/j.humov.2018.04.009
5. Du J, Gerdman C, Linden M. Signal Quality Improvement Algorithms for MEMS Gyroscope-Based Human Motion Analysis Systems: A Systematic Review. *Sensors (Basel).* 2018 Apr 6;18(4). doi: 10.3390/s18041123
6. Alcalde GE, Fonseca AC, Boscoa TF, et al. Effect of aquatic physical therapy on pain perception, functional capacity and quality of life in older people with knee osteoarthritis: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials.* 2017 Jul 11;18(1):317. doi: 10.1186/S13063-017-2061-X
7. Magaldi RJ, Staff I, Stovall AE, et al. Impact of resilience on outcomes of total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2019 Jun 12. doi: 10.1016/J.ARTH.2019.06.008
8. Tanaka R, Hayashizaki T, Taniguchi R, et al. Effect of an intensive functional rehabilitation program on the recovery of activities of daily living after total knee arthroplasty: a multicenter, randomized, controlled trial. *J Orthop Sci.* 2019 Jun 7. doi: 10.1016/J.JOS.2019.04.009
9. Stastny E., Trc T., Philippou T. Rehabilitation after total knee and hip arthroplasty. *Cas Lek Cesk.* 2016;155(8):427-32.
10. Hylkema TH, Stevens M, Selzer F, et al. Activity impairment and work productivity loss after total knee arthroplasty: a prospective study. *J Arthroplasty.* 2019 Jun 13. doi: 10.1016/J.ARTH.2019.06.015
11. Jennings JM, Loyd BJ, Miner TM, et al. A prospective randomized trial examining the use of a closed suction drain shows no influence on strength or function in primary total knee arthroplasty. *Bone Joint J.* 2019 Jul;101-B(7 SUPPLE C):84-90. doi: 10.1302/0301-620X.101B7.BJJ-2018-1420.R1
12. Chaparro-Cardenas SL, Lozano-Guzman AA, Ramirez-Bautista JA, Hernandez-Zavala A. A review in gait rehabilitation devices and applied control techniques. *Disabil Rehabil Assist Technol.* 2018 Nov;13(8):819-34. doi: 10.1080/17483107.2018.1447611. Epub 2018 Mar 25.
13. Королева СВ. Кинематическая нестабильность в патогенезе и лечении гонартроза: Монография. Саарбрюккен, Германия: Palmapium Academic Publishing; 2012. 261 с. [Koroleva SV. *Kinematicheskaya nestabil'nost' v patogeneze i lechenii gonartroza: Monografiya* [Kinematic instability in the pathogenesis and treatment of gonarthrosis: Monograph]. Saarbrücken, Germany: Palmapium Academic Publishing; 2012. 261 p. (In Russ.)].
14. Ahmed AR, Abd-Elkader SM, Al-Obathani KS. Effect of a 6-week rehabilitation program on gait parameters after total knee arthroplasty. *Saudi Med J.* 2010 Sep;31(9):1032-5.
15. Liebensteiner MC, Herten A, Gstöttner M, et al. Correlation between objective gait parameters and subjective score measurements before and after total knee arthroplasty. *Knee.* 2008 Dec;15(6):461-6. doi: 10.1016/j.knee.2008.07.001. Epub 2008 Aug 26.
16. Cross M, Smith E, Hoy D, et al. The global burden of hip and knee osteoarthritis: estimates from the global burden of disease 2010 study. *Ann Rheum Dis.* 2014;73:1323-30. doi: 10.1136/annrheumdis-2013-204763
17. Скворцов ДВ. Диагностика двигательной патологии инструментальными методами: анализ походки, стабилметрия. Москва; 2007. 640 с. [Skvortsov DV. *Diagnostika dvigatel'noy patologii instrumental'nyimi metodami: analiz pokhodki, stabilometriya* [Diagnosis of motor pathology by instrumental methods: gait analysis, stabilometry]. Moscow; 2007. 640 p. (In Russ.)].

Декларация о финансовых и других взаимоотношениях

Все авторы принимали участие в разработке концепции статьи и в написании рукописи. Окончательная версия рукописи была одобрена всеми авторами. Авторы не получали гонорар за статью.

Благодарности

Авторы выражают благодарность за содействие в подготовке статьи врачу-физиотерапевту Е.Г. Торцевой (ОБУЗ «Ивановский областной госпиталь для ветеранов войн») и Д.В. Чиндилову (ООО «Нейрософт»).