

УДК 617.3

DOI 10.52246/1606-8157_2023_28_3_45

ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ХОДЬБЫ У ПАЦИЕНТОВ С ЗАСТАРЕЛЫМИ ПОВРЕЖДЕНИЯМИ КОЛЕННОГО СУСТАВА

М. С. Графинин¹,
Д. В. Михайлов¹,
С. В. Королева¹, доктор медицинских наук,
И. В. Кирпичев¹, доктор медицинских наук

¹ ФГБОУ ВО «Ивановская государственная медицинская академия» Минздрава России, 153012, Россия, г. Иваново, Шереметевский просп., д. 8

РЕЗЮМЕ Основным запросом пациентов травматолого-ортопедического профиля на завершающем этапе лечения является восстановление ходьбы. Появление технологий с использованием инерциальных сенсоров позволило повысить клиническую доступность методик объективизации функций, в том числе и функций коленного сустава (КС). Определение особенностей параметров ходьбы позволит расширить понимание функциональных изменений, использовать их при оценке эффективности различных медицинских технологий лечения и реабилитации.

Цель – изучение временных характеристик ходьбы у пациентов с застарелыми травмами КС.

Материал и методы. Исследование выполнено на базе в ОБУЗ «Ивановский областной госпиталь для ветеранов войн». Обследованы 48 пациентов с застарелыми повреждениями КС. Наблюдаемые были разделены на две группы: 1) с повреждениями мениска, 2) с повреждением передней крестообразной связки (ПКС). Средний возраст больных – $28,1 \pm 3,4$ и $32,0 \pm 2,81$ года соответственно. В качестве группы контроля были обследованы 18 человек без повреждений в суставе.

Параметры ходьбы фиксировались с использованием системы для оценки функции ходьбы с биологической обратной связью «Стэдис-Стэп» (ООО «Нейрософт», г. Иваново).

Результаты и обсуждение. В обеих группах отмечалось увеличение, по сравнению с контролем, среднего периода опоры (СПО), периода двойной опоры (ДО), уменьшение усредненных показателей периода переноса и одиночной опоры (ОО), при этом разница определяемых временных параметров (асимметрия) между конечностями (травмированной и «здоровой») у пациентов в основных группах оказалась статистически выше, чем в контрольной. Несмотря на различие повреждений, функциональные изменения оказались однотипными, отражающими механизмы разгрузки поврежденной конечности. Прежде всего это относится к длительности ОО (максимальная нагрузка при ходьбе в цикле шага) – уменьшение ОО с больной стороны сопровождалось компенсаторным увеличением длительности ДО.

Заключение. Изменения временных характеристик ходьбы являются однотипными при застарелых повреждениях КС как при травме ПКС, так и менисков, и отражают общий для данных поражений адаптивный механизм разгрузки больной конечности, возникающий за счет увеличения периода опоры и, соответственно, времени ДО.

Ключевые слова: паттерн ходьбы, застарелая травма коленного сустава, травма менисков, повреждение передней крестообразной связки, Стэдис.

* Ответственный за переписку (corresponding author): drqueen@mail.ru

Походка является базовым локомоторным автоматическим механизмом, обеспечивающим перемещение пациента в пространстве. Устойчивый паттерн ходьбы, во многом имеющий выраженный индивидуальный характер, формируется к 20 годам. В случае возникновения заболеваний и повреждений нижних конечностей данная функция нарушается. В 85–90 % случаев заболеваний и травм нижних конечностей основным запросом пациентов на завершающем этапе лечения/реабилитации является именно восстановление ходьбы. У пациентов травматолого-ортопедического профиля приоритетным является восстановление ходьбы как функции [1–4], а только затем – активности (в отличие, например, от кардиореабилитации). Следовательно, эффективность лечения и реабилитации пациентов данной категории оценивается по восстановлению ходьбы и как локомоции, и как целевой активности.

Чаще всего в клинической практике оценка походки как функции является субъективной и отражается в наличии или отсутствии хромоты, для центров федерального уровня предлагается подометрия/подография.

Относительно недавно в России и за рубежом стали применяться объективные методы оценки данной функции, «золотым стандартом» среди которых является видеонализ (видеозахват движений). Однако все они являются достаточно трудоемкими (проба занимает около двух часов) и высокочрезвычайно затратными, поскольку требуют оснащения специальных лабораторий и дополнительных компетенций от медицинского персонала. Кроме того, указанные высокотехнологичные системы диктуют ограничения и по характеристикам пациента (рост, возможность доставки в лабораторию и т. д.). Появление технологии, использующей инерциальные сенсоры, позволило значительно повысить клиническую доступность методики – она мобильна, для выполнения теста ходьбы подходит любое помещение, позволяющее сделать 6–10 шагов по прямой: палата, коридор, столовая и т. д., выполнение одной пробы вместе с наложением датчиков занимает не больше 10 минут.

Несмотря на доступность и простоту, клиническое использование инерциальных сенсоров пока ограничено: в доступной литературе не-

достаточно информации об изменениях ходьбы при различной травматолого-ортопедической патологии, более широко технология уже применяется в неврологической практике.

Застарелые травмы КС являются одними из самых распространенных проблем в травматологии и ортопедии. Наиболее частыми из них являются повреждения и частичные/полные разрывы менисков и ПКС КС. Изучение и определение значимых изменений параметров ходьбы позволит не только расширить понимание функциональных изменений, возникающих при данной патологии, но и использовать полученные результаты при сравнительной оценке эффективности различных медицинских технологий, используемых в лечении и реабилитации пациентов [5] (в том числе при скрининговом подборе, например, изделий консервативной ортопедической коррекции).

Целью работы явилось изучение временных характеристик ходьбы у пациентов с застарелыми травмами КС.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для достижения полученной цели были обследованы 48 пациентов с застарелыми повреждениями КС. В зависимости от пораженной структуры больные были разделены на две группы. В 1-ю группу вошли пациенты с повреждениями медиального мениска, во 2-ю – ПКС КС. Средний возраст пациентов составил $28,1 \pm 3,4$ и $32,0 \pm 2,81$ года соответственно. В большинстве случаев травма была получена при занятиях спортом. В обеих группах с момента травмы до обследования прошло более шести месяцев. В качестве группы контроля были обследованы 18 человек без повреждений в КС (табл. 1).

Все пациенты обследованы накануне оперативного вмешательства в отделении ортопедии ОБУЗ «Ивановский областной госпиталь для ветеранов войн» в период с 2022 по 2023 гг. Во всех случаях диагноз поврежденной структуры был подтвержден с помощью магнитно-резонансной томографии и при проведении артроскопии КС. В исследование не вошли пациенты с дегенеративными повреждениями сустава и с тяжелой сопутствующей патологией (сахарный диабет, ишемическая болезнь сердца, метаболический синдром).

Таблица 1. Характеристика исследуемых групп

Характеристики	Исследуемые группы		
	1-я	2-я	контроля
Число пациентов	28	20	18
Средний возраст, годы	28,1 ± 3,4	32,0 ± 2,81	21,0 ± 0,9
Спортивная травма, абс.	24	14	–
Бытовая травма, абс.	4	6	–
Сроки, прошедшие с момента травмы до исследования, мес.	8,2 ± 2,4	12,3 ± 3,4	–

Временные параметры ходьбы фиксировались с использованием системы для оценки функции ходьбы с биологической обратной связью «Стэдис-Стэп» (ООО «Нейрософт», г. Иваново). После установки датчиков пациенты ходили по ровной поверхности в удобном для себя темпе в течение двух минут. Принятые к анализу показатели ходьбы по временным параметрам представлены в *таблице 2*.

Застарелые повреждения КС (более шести месяцев от момента травмы) влекут за собой создание «нового» стереотипа ходьбы, поскольку

поврежденная конечность вместе со здоровой является единой кинематической системой и нарушение биомеханических параметров с больной стороны неминуемо приводят к изменениям в контралатеральной. Данное обстоятельство не позволяет рассматривать конечность с неповрежденным КС как контрольную, соответственно, и асимметрия как таковая не может приниматься в качестве критерия нарушений биомеханики.

Статистическая обработка полученных результатов осуществлялась с помощью программы

Таблица 2. Временные характеристики ходьбы у пациентов с застарелыми повреждениями коленного сустава

Характеристика	Методика измерения
Цикл шага (ЦШ), с	Длительность от момента касания пяткой о поверхность одной из конечностей до следующего касания этой же пяткой
Период опоры (ПО), %	Общее время контакта одной из конечностей с опорой, выраженное в процентах от ЦШ
СПО, %	Усредненный показатель ПО между обеими конечностями
Период переноса (ПП), %	Время, при котором одна из конечностей не контактирует с опорой, выраженное в процентах от ЦШ
Средний период переноса (СПО), %	Усредненный показатель ПП между обеими конечностями
ДО, %	Время контакта обеих конечностей с опорой, выраженное в процентах от ЦШ
ОО, %	Время контакта только одной из конечностей с опорой, выраженное в процентах от ЦШ, без учета ДО
Средний период одиночной опоры (СОО), %	Усредненный показатель ОО между обеими конечностями
Первая ДО (1ДО), %	Время контакта обеих конечностей с опорой от начала ЦШ до начала ОО, выраженное в процентах от ЦШ
Вторая ДО (2ДО), %	Время контакта обеих конечностей с опорой от окончания ОО до начала ПП, выраженное в процентах от ЦШ

Statistica12, где определяли средние значения, стандартную ошибку среднего ($M \pm m$) при 5 %-ном уровне значимости.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Длительность ЦШ в исследуемых группах и в группе контроля статистически значимо не различалась и составила $1,3 \pm 0,28$ с в 1-й группе (повреждение менисков), $1,2 \pm 0,35$ с – во 2-й (повреждение ПКС) и $1,2 \pm 0,34$ с – в контрольной. Сравнение усредненных основных характеристик между исследуемыми группами и контрольной выявило идентичные изменения и тенденции. Так, в обеих группах отмечалось увеличение, по сравнению с контролем, СПО, периода ДО, уменьшение усредненных показателей ПП и ОО, при этом разница определяемых временных параметров (асимметрия) между конечностями (травмированной и «здоровой»)

у пациентов в группах оказалась статистически выше, чем в контрольной (табл. 3). При сравнении результатов между 1-й и 2-й группами статистически значимой разницы выявлено не было.

При сравнении показателей ходьбы здоровой и пораженной конечностей также выявились однотипные изменения (табл. 4): в обеих группах выявлено уменьшение времени как ПО, так и ОО на больной конечности, при этом ПП был увеличен.

При анализе временных характеристик ходьбы наглядно продемонстрировано, что при различных поврежденных анатомических структурах функциональные изменения являются однотипными и отражают адаптационно-приспособительные механизмы, целью которых является разгрузка поврежденной конечности. Единая

Таблица 3. Показатели временных характеристик ходьбы в исследуемых группах по сравнению с контрольной

Показатель	Исследуемые группы, %, $M \pm m$		
	1-я (n = 28)	2-я (n = 20)	контрольная (n = 16)
СПО	$65,22 \pm 0,64^*$	$64,74 \pm 0,46^*$	$62,73 \pm 0,21$
Разница СПО	$2,45 \pm 0,38^*$	$2,57 \pm 0,62^*$	$0,13 \pm 0,02$
СОО	$34,79 \pm 0,61^*$	$35,04 \pm 0,45^*$	$37,27 \pm 0,24$
Разница СОО	$2,73 \pm 0,4^*$	$2,61 \pm 0,6,3^*$	$2,12 \pm 0,02$
ДО	$30,27 \pm 1,19^*$	$30,21 \pm 1,05^*$	$24,32 \pm 0,52$
СПП	$34,72 \pm 0,61^*$	$35,25 \pm 0,46^*$	$37,99 \pm 0,27$
Разница ПП	$2,56 \pm 0,4^*$	$2,57 \pm 0,62^*$	$0,17 \pm 0,44$

Примечание. * – статистическая значимость различий с показателем контрольной группы, $p < 0,01$.

Таблица 4. Оценка временных характеристик ходьбы в группах пациентов с застарелой травмой коленного сустава между больной и здоровой конечностями

Группы пациентов		$M \pm m$		
		ПО	ОО	ПП
1-я	Здоровая конечность	$66,06 \pm 0,85$	$35,91 \pm 0,87$	$33,63 \pm 0,84$
	Больная конечность	$64,37 \pm 0,84^*$	$34,1 \pm 0,84^*$	$35,38 \pm 0,97$
2-я	Здоровая конечность	$66,16 \pm 0,81$	$35,93 \pm 0,39$	$33,84 \pm 0,82$
	Больная конечность	$63,9 \pm 0,37^*$	$33,76 \pm 0,79^*$	$36,08 \pm 0,38$

Примечание. * – статистическая значимость различий со здоровой конечностью в той же группе, $p < 0,01$.

кинематическая цепь двух нижних конечностей реализует попеременную нагрузку на каждую, и для уменьшения времени нагрузки на конечность с травмированным КС происходит перераспределение внутри шага с увеличением на здоровую ногу при попытке минимизации общей асимметрии. Прежде всего это относится к длительности ОО (максимальная нагрузка при ходьбе в ЦШ). Полученные результаты свидетельствуют об уменьшении ОО с больной стороны, при этом длительность ДО возрастает как компенсаторный механизм.

Очевидно, что выявленные компенсаторные биомеханические изменения носят универсальный характер. Застарелый характер повреждений влечет за собой формирование нового паттерна ходьбы, о чем свидетельствует показатель ритмичности (автоматизации, повторяемости шагов друг относительно друга) больше 0,92 в обеих группах. Следовательно, необходимо включение объективных, позволяющих «перепрограммировать» патологический паттерн ходьбы на физиологический при анатомическом восстановлении структур технологий визу-

ализации функциональных нарушений при лечении и реабилитации пациентов с застарелой травмой КС.

ВЫВОДЫ

1. Изменения временных характеристик ходьбы являются однотипными при повреждении ПКС и менисков и отражают общий для данных травм возникающий адаптивный механизм разгрузки больной конечности.
2. У пациентов с повреждением как ПКС, так и менисков выявлено увеличение ПО за счет увеличения времени ДО по сравнению с контролем. Со стороны больной конечности в обеих исследуемых группах отмечено уменьшение времени ОО и увеличение ПП.
3. Изменения временных характеристик ходьбы являются однотипными при застарелых повреждениях КС при повреждении как ПКС, так и менисков, и отражают общий для данных травм адаптивный механизм разгрузки больной конечности, возникающий за счет увеличения ПО и, соответственно, времени ДО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахпашев А.А., Загородний Н.В., Джоджуа А.В., Карпович Н.И., Кауркин С.Н., Скворцов Д.В. Функция ходьбы в различные периоды лечения и реабилитации при повреждении мениска. Вестник НМХЦ им. Н.И. Пирогова. 2020;15(1):48-52. <https://doi.org/10.25881/BPNMSC.2020.78.71.009>.
2. Котельников Г.П. Травматология: нац.рук. М.:ГЭОТАР-Медиа, 2011;193(1104):108.
3. Bolog NV, Andreisek G. Reporting knee meniscal tears: technical aspects, typical pitfalls and how to avoid them. *Insights Imaging*. 2016;7(3):385-398. <https://doi.org/10.1007/s13244-016-0472-y>.
4. Kannus P, Niemi S, Parkkari J, Palvanen M, Järvinen M, Vuori I. Unintentional injury death in an adult Finnish population 1971–1997. *Epidemiology*. 2000;11(5):598-602.
5. MARS Group. Predictors of clinical outcome following revision anterior cruciate ligament reconstruction. *J. Orthop. Res.* 2020;38(6):1191-1203. <https://doi.org/10.1002/jor.24562>.
6. Paterno MV, Rauh MJ, Schmitt LC, Ford KR, Hewett TE. Incidence of second ACL injuries 2 years after primary ACL reconstruction and return to sport. *Am. J. Sports Med.* 2014;42(7):1567-1573. <https://doi.org/10.1177/0363546514530088>.

TIME FEATURES OF WALKING IN PATIENTS WITH LONG-STANDING KNEE JOINT INJURIES

M. S. Grafinin, D. V. Mikhaylov, S. V. Korolyova, I. V. Kirpichyov

ABSTRACT Walking restoration is the main request of the patients of traumatologic and orthopedic profile at the final stage of the treatment. The emergence of technologies using inertial sensors allowed to increase clinical availability of the methods of objectification of functions, including knee joint (KJ) functions. The determination of the peculiarities of walking parameters would allow to expand undertaking of functional changes, to use them in the assessment of the effectiveness of various medical technologies of treatment and rehabilitation.

Objective – to study time features of walking in patients with long-standing KJ injuries.

Material and methods. The study was performed in Ivanovo regional hospital for war veterans. 48 patients with long-standing KJ injuries were examined. All persons were divided into two groups: 1) with meniscus injury, 2) with anterior cruciate ligament injury (ACL). Average age of the patients was amounting to $28,1 \pm 3,4$ and $32,0 \pm 2,81$ years respectively. 18 persons without knee injuries were examined as the control group.

Walking parameters were registered by «Stedis-Step» system for walking assessment with biofeedback («Neurosoft» Ltd., Ivanovo).

Results and discussion. The increase in the average period of support (AS), period of double support (DS), reduction of average indicators of the period of transfer and single support (SS) was registered in both groups in comparison with control group; and the difference of the defined time parameters (asymmetry) between extremities (injured and “healthy”) in patients in the groups were statistically higher than in the control group. Despite the difference in injuries functional changes were of the same type, they reflected the mechanisms of unloading of the damaged limb. Firstly it refers to the duration of a single support (maximal load in walking in a step cycle) – SS decrease on the sick side was accompanied by compensatory increase of DS duration.

Conclusion. Changes of time features of walking were of the same type in long-standing KJ injuries both in ASL injuries and in meniscus injuries and it reflected general for such injuries arising adaptive mechanism of unloading of the damaged limb by increasing the support period by increasing DS time.

Key words: walking pattern, long-standing knee joint injury, meniscus injury, anterior cruciate ligament injury, Stedis.