

ОЦЕНКА ХОДЬБЫ ПРИ ЗАСТАРЕЛЫХ ТРАВМАХ МЕНИСКОВ КОЛЕННОГО СУСТАВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ СЕНСОРОВ

Кирпичев И.В., Королева С.В., Графинин М.С.

ФГБОУ ВО «Ивановская государственная медицинская академия Минздрава России», Иваново, e-mail: drqueen@mail.ru

Травматические повреждения менисков являются одной из наиболее частых травм коленного сустава (КС). В остром периоде данный вид повреждения характеризуется большим разнообразием клинических проявлений, что зачастую приводит к отсутствию либо к несвоевременному назначению специфического лечения. Показатели функциональных статических и динамических изменений становятся востребованы для определения стратегии лечения и оценки эффективности реабилитации пациентов. Объективные показатели ходьбы являются одним из комплексных клинико-инструментальных критериев состояния КС, способных визуализировать их функциональное состояние и динамику восстановления при травме менисков. Цель исследования - выявить основные объективные показатели изменения ходьбы у пациентов с застарелыми повреждениями менисков КС. Материалы и методы исследования. Обследованы 24 пациента с застарелым повреждением менисков, проходивших лечение в ортопедическом отделении ОБУЗ «Ивановский областной госпиталь для ветеранов войн» в 2022 г. Исследование ходьбы проводилось с использованием системы для анализа функции ходьбы «Стэдис» (ООО «Нейрософт», Иваново) с регистрацией стандартных показателей. В группе контроля обследовано 16 пациентов без патологии КС. Результаты. За методологическую основу проведенного исследования принят постулат о возникновении единой кинематической цепи при нарушении биомеханики больной конечности, что не позволяет рассматривать контралатеральную конечность как здоровую. Предложенный алгоритм позволил выявить высокодостоверные различия в параметрах ходьбы не только между экспериментальной группой и группой контроля, но и между «здоровой» и «больной» конечностями. Наряду с механизмами уменьшения асимметрии выделены 3 типа гониограмм КС, отражающих возможные феномены компенсации нестабильности в периоде опоры. Заключение. Таким образом, застарелые повреждения менисков приводят к значительным расстройствам биомеханики ходьбы, отражающим степень адаптации опорно-двигательного аппарата к изменившимся в результате травмы условиям функционирования.

Ключевые слова: травма коленного сустава, травма менисков, параметры ходьбы, типы гониограмм.

ASSESSMENT OF WALKING IN OLD MENISKI INJURIES OF THE KNEE JOINT USING INERTIAL SENSORS TECHNOLOGY

Kirpichev I.V., Koroleva S.V., Grafinin M.S.

Ivanovo State Medical Academy of the Ministry of Health of Russia, Ivanovo, e-mail: drqueen@mail.ru

Traumatic injuries of the meniscus are one of the most common injuries of the knee joint (KJ). In the acute period, this type of damage is characterized by a wide variety of clinical manifestations, which often leads to the absence or untimely appointment of specific treatment. Indicators of functional static and dynamic changes are becoming in demand to determine the treatment strategy and evaluate the effectiveness of patient rehabilitation. Objective indicators of walking are one of the complex clinical and instrumental criteria for the state of the knee joint, capable of visualizing their functional state and the dynamics of recovery in case of meniscus injury. The purpose of the study was to identify the main objective indicators of changes in walking in patients with chronic injuries of the meniscus of the knee joint. Materials and research methods. We examined 24 patients with chronic meniscal injury who were treated in the orthopedic department of the Ivanovo Regional Hospital for War Veterans in 2022. The study of walking was carried out using the system for analyzing the function of walking "Staedys" ("Neurosoft", Ivanovo) with registration of standard indicators. In the control group, 16 patients without KJ pathology were examined. Results. The methodological basis of the study was the postulate of the emergence of a single kinematic chain in violation of the biomechanics of the diseased limb, which does not allow us to consider the contralateral limb as healthy. The proposed algorithm made it possible to identify highly significant differences in walking parameters not only between the experimental group and the control group, but also between the "healthy" and "sick" limbs. Along with the mechanisms for reducing asymmetry, 3 types of goniograms of the knee joints were identified, reflecting possible phenomena of compensation for instability in the period of support. Conclusion. Thus, chronic meniscus injuries lead to significant disorders of walking biomechanics, reflecting the degree of adaptation of the musculoskeletal system to the functioning conditions that have changed as a result of the injury.

Keywords: knee injury, meniscus injury, walking parameters, types of goniograms.

Повреждение менисков является одной из наиболее распространенных травм коленного сустава (КС) (до 75% от всех закрытых травм КС) [1]. Приблизительно 1 млн операций на менисках выполняется каждый год, при этом более 50% операций проводится у пациентов в возрасте 45 лет и старше. Частота разрывов мениска у спортсменов составляет 61 на 100 000 человек [1-3]. Ранее считалось, что соотношение мужчин и женщин при этой травме составляет 3:1,3, но более поздние данные свидетельствуют о достаточно равномерном распределении в зависимости от пола. Приблизительно 60% разрывов мениска происходит у пациентов в возрасте от 20 до 49 лет.

В остром периоде данный вид повреждения характеризуется большим разнообразием клинических проявлений и отсутствием специфических симптомов, что зачастую приводит к отсутствию либо несвоевременному назначению специфического лечения [1; 3]. Последствия травмы приводят к нарушению функции КС из-за периодически возникающих блокад сустава, синовитов, динамической неустойчивости во время движений [1; 4]. Артроскопические методы лечения данной патологии в настоящее время являются наиболее востребованными вследствие их малой инвазивности и быстрой реабилитации в послеоперационном периоде. Основная цель лечения – избавить пациента от функциональных нарушений в поврежденном суставе, что в свою очередь профилактирует возникновение вторичных дегенеративно-дистрофических изменений [5]. Следует подчеркнуть, что на выбор хирургического метода лечения влияет запрос пациента, когда требуется максимально быстрое возвращение к работе или к занятиям спортом с восстановлением КС до функционального, безболезненного состояния. Основным клиническим показанием к оперативному лечению является безуспешное консервативное лечение более 2 месяцев и готовность пациента выполнять условия послеоперационной реабилитации. В этой связи показатели функциональных статических и динамических изменений, ассоциируемых с данной травмой, становятся необходимы и востребованы для определения стратегии лечения и оценки эффективности реабилитации пациентов, в том числе в динамике ее проведения. Объективные показатели ходьбы являются одним из комплексных клинико-инструментальных функциональных критериев состояния КС, и они недостаточно изучены при застарелой травме менисков КС.

Цель исследования – выявить основные объективные показатели изменения ходьбы у пациентов с застарелыми повреждениями менисков коленных суставов.

Материалы и методы исследования. Обследованы 24 пациента с застарелым повреждением менисков, проходивших лечение в ортопедическом отделении ОБУЗ

«Ивановский областной госпиталь для ветеранов войн» в 2022 году. В качестве контрольной группы обследовано 16 пациентов без патологии КС (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика обследованных больных

Характеристики	Исследуемая группа (N=24)	Контрольная группа (N=16)
Пол (М/Ж)	13 / 12	7 / 9
Средний возраст	28,1 ± 2,1 года	21,0 ± 0,9 года
Поврежденный сустав (правый/левый)	13 / 11	-
Поврежденный мениск (латеральный/медиальный)	3 / 21	-
По этиологии (спортивная/ бытовая травма)	19 / 5	-

Установлено, что в экспериментальной группе травма была получена в большинстве случаев при спортивных занятиях (79%), чаще повреждался медиальный мениск (87%). Все повреждения были визуализированы на МРТ и при артроскопии. Всем пациентам обследование проводилось за 1 сутки до хирургического вмешательства.

Исследование ходьбы проводилось с использованием системы для анализа функции ходьбы «Стэдис» (ООО «Нейрософт», г. Иваново) с использованием стандартного автоматизированного протокола. Обследование проводилось в лаборатории «Биомеханика» кафедры травматологии и ортопедии ФГБОУ ВО «ИвГМА» МЗ РФ. Пациент после фиксации датчиков в течении 2 минут ходил по ровной поверхности в удобном для себя темпе. К анализу принимались стандартные временные, пространственные и кинематические параметры ходьбы.

За методологическую основу проведенного исследования принят постулат о возникновении единой кинематической цепи при нарушении биомеханики больной конечности, что не позволяет рассматривать контралатеральную конечность как здоровую. Поэтому не были получены достоверные различия во временных показателях ходьбы, выраженных в абсолютных единицах, что согласуется с результатами других авторов [5]. Исходя из этого, из всех стандартных показателей ходьбы акцент нами был сделан на опорно-разгрузочные временные фазовые относительные параметры: период опоры (ПО) – часть цикла шага (ЦШ), при котором конечность контактирует с опорой; период переноса (ПП) – часть ЦШ, при котором конечность не контактирует с опорой; период одиночной опоры (ОО) – часть ЦШ, при которой с опорой контактирует только одна конечность; период двойной опоры (ДО) – часть ЦШ, при которой с опорой контактируют обе конечности. Единицами измерения были проценты цикла шага (рис. 1).

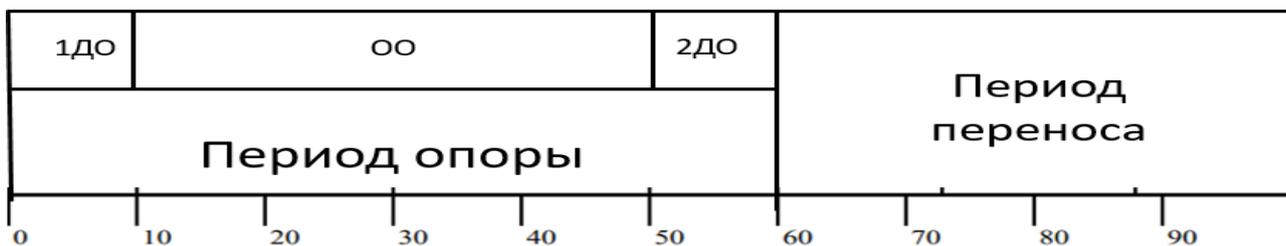


Рис. 1. Временные фазовые параметры ходьбы: 1ДО – период первой двойной опоры; 2ДО – период второй двойной опоры; ОО – период одиночной опоры

Среди пространственных характеристик использован показатель $1/2$ от ширины шага (рис. 2) – расстояние от идентичных точек стопы при ходьбе во фронтальной плоскости. Данная методика позволяла определить симметричность формирования полной ширины шага для пораженной и здоровой конечности отдельно.

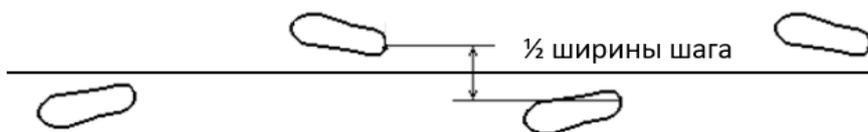


Рис. 2. Пространственные характеристики ходьбы

Анализ кинематических характеристик проведен с использованием гониограмм КС. В норме отмечается 2 эпизода сгибания и разгибания КС за полный ЦШ при ходьбе. Первый, с меньшей амплитудой, происходит в ПО, второй – в ПП (маховое сгибание КС). При оценке гониограмм мы оценивали общую амплитуду движений во время ходьбы, амплитуду ПО и ПП. Для более детального описания гониограмм дополнительно определяли форму гониограммы за ПО (рис. 3).

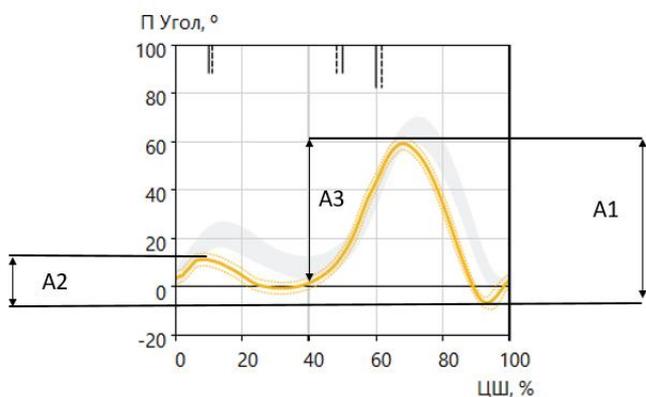


Рис. 3. Кинематические характеристики ходьбы: А1 – общая амплитуда; А2 – амплитуда в ПО; А3 – амплитуда в ПП

Полученные результаты обработаны стандартными методами вариационной статистики с помощью программы Statistical2. Вычисляли средние значения и стандартную ошибку среднего ($M \pm m$). Уровень значимости принят 5%.

Результаты исследования и их обсуждение. При сравнении временных фазовых характеристик ходьбы между исследуемой и контрольной группой выявлено (табл. 2), что в исследуемой группе в единой кинематической цепи нижних конечностей увеличение ПО происходит за счет периода ДО, при этом отмечалось уменьшение ОО и уменьшение (!) ПП. Также обращает на себя внимание увеличение асимметрии принятых к анализу фаз ходьбы в исследуемой группе (между «больной» и «здоровой» нижней конечностью).

Таблица 2

Результаты фазовых характеристик ходьбы в группах наблюдения

Показатель	Исследуемая группа (N=24)	Контрольная группа (N=16)	Достоверность
ПО ($M \pm m$)	65,49±0,79	62,73±0,21	p=0,007
Разница ПО ($M \pm m$)	2,54±0,46	0,13±0,02	p=0,0001
ОО ($M \pm m$)	34,66±0,74	37,27±0,24	p=0,0071
Разница ОО ($M \pm m$)	2,70±0,48	2,12±0,02	p=0,0001
ДО ($M \pm m$)	30,75±1,46	24,32±0,52	p=0,0155
ПП ($M \pm m$)	34,51±0,79	37,99±0,27	p=0,0008
Разница ПП ($M \pm m$)	2,43±0,47	0,17±0,44	p=0,0004

Сравнение фазовых показателей ходьбы между «больной» и «здоровой» конечностью в исследуемой группе позволило подтвердить, что во время ходьбы «на больной конечности» уменьшается ПО, в том числе и период ОО с компенсаторным увеличением ПП, что свидетельствует о компенсаторной разгрузке и щажении поврежденной конечности (табл. 3).

Таблица 3

Результаты сравнительной оценки фазовых параметров ходьбы у больных исследуемой группы

Показатель	Больная конечность	Здоровая конечность	Достоверность
ПО ($M \pm m$)	64,7±1,2	66,29±1,05	p=0,016
ОО ($M \pm m$)	33,95±1,04	35,36±1,08	p=0,049
ПП ($M \pm m$)	35,26±1,2	33,74±1,05	p=0,021

Анализ пространственных характеристик по показателю циркумдукции выявил асимметрию 1/2 ширины шага в обеих группах, принятых к анализу. Но в исследуемой группе асимметрия наблюдалась у 16 пациентов, что составило 66,7%, в то время как в контрольной группе данный показатель фиксировался только в двух случаях, что составило 12,5% (p=0,0009). Увеличение ширины шага в 10 случаях происходило за счет «больной» конечности и только в 6 – за счет «здоровой» (p=0,1639).

При сравнении гониограмм КС в 2 группах наблюдения выявлено достоверное уменьшение амплитуд как общего объема движений, так и амплитуд в ПО и ПП в исследуемой группе, достоверно отличных от группы контроля (табл. 4). Также определены достоверные различия в объеме движений в КС в контралатеральных конечностях.

Таблица 4

Результаты кинематических характеристик ходьбы в исследуемой и контрольной группах

Показатель	Исследуемая группа (N=24)	Контрольная группа (N=16)	Достоверность
Общая амплитуда (M±m)	53,06±1,88	65,06±0,95	p=0,001
Разница общей амплитуды (M±m)	6,54±1,52	2,56±0,18	p=0,004
Амплитуда в ПО (M±m)	14,97±1,02	22,06±0,60	p=0,005
Разница амплитуды в ПО (M±m)	3,87±0,96	1,06±0,06	p=0,023
Амплитуда в ПП (M±m)	43,37±1,55	63,37±0,64	p=0,001
Разница амплитуды в ПП (M±m)	6,00±1,38	1,37±0,15	p=0,01

Сравнение кинематических характеристик между «больной» и «здоровой» конечностями в исследуемой группе позволило определить снижение всех амплитуд по фазам ходьбы с «больной» стороны.

Таблица 5

Результаты оценки кинематических характеристик ходьбы у больных исследуемой группы

Показатель	Больная конечность	Здоровая конечность	Достоверность
Общая амплитуда (M±m)	51,08±2,48	55,04±1,63	p=0,046
Амплитуда в ПО (M±m)	13,95±1,14	15,91±1,20	p=0,112
Амплитуда в ПП (M±m)	41,29±1,98	45,5±1,51	p=0,017

Анализ форм кривой гониограмм в ПО позволил выявить три ее типа (рис. 4). Первый (V-образный) характеризовался достаточно быстрым подъемом (сгибание КС) в первые 8–14% ЦШ с последующим медленным разгибанием до 46–52% ЦШ, с явно определяемым максимумом. Данный тип гониограмм наблюдался у всех пациентов группы контроля и у 4 пациентов (16,6%) в исследуемой группе. Второй тип (U-образный) характеризовался постепенным подъемом до 6–16% ЦШ, с более сглаженной вершиной (максимума сгибания), с последующим постепенным разгибанием до 43–54% ЦШ. Данный вариант был установлен только в группе больных у 7 пациентов (29,2%), симметрично с обеих сторон. Третий тип кривой (W-образный) отличался наличием дополнительного зубца, возникающего в период 14–30% ЦШ, и также определен только в исследуемой группе на обеих конечностях в 6 случаях (25%), в 7 – асимметрично (29,2%). При одностороннем выявлении дополнительного

зубца у 5 больных его фиксировали на больной конечности, и в 2 – на контралатеральной. Первый тип нами рассматривался как вариант нормы, а остальные – патологические.

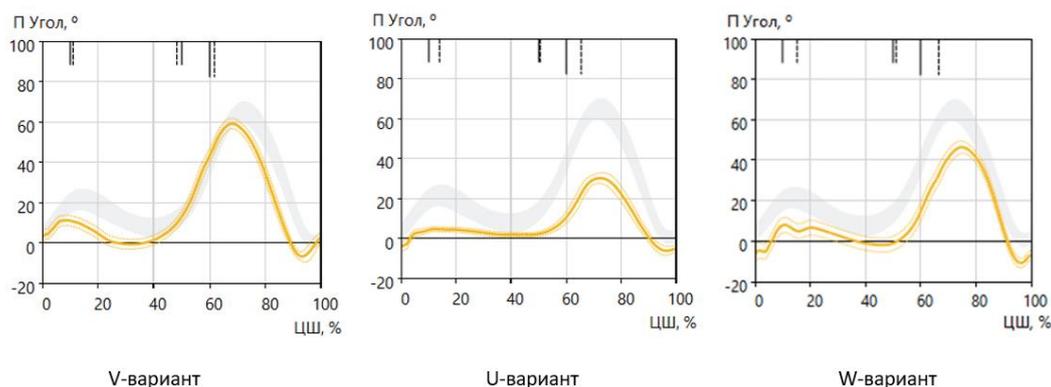


Рис. 4. Варианты полученных гониограмм

Мениски являются важными анатомическими образованиями КС, основной биомеханической функцией которых является обеспечение конгруэнтности суставных поверхностей мыщелков бедра и большеберцовой кости и стабильность КС в каждый момент движения. Это обеспечивается и поддерживается особенностями фиксации и внутрисуставной кинематики менисков. Повреждение данных образований приводит к нарушению функции, что проявляется в ощущении нестабильности КС, появлении периодических болей (блокад), перегрузке отдельных элементов периакулярного капсульно-связочного аппарата и отдельных участков суставной поверхности. Одним из адаптивных функциональных механизмов является изменение динамического стереотипа ходьбы, особенно характерного для застарелых повреждений. Методологический подход, объединивший «больную» и «здоровую» конечность в единую кинематическую цепь, позволил выявить новые феномены патологической ходьбы. Можно констатировать, что возникающее в результате травмы менисков изменение стереотипа ходьбы затрагивает не только пораженную конечность, но и контралатеральную, что объясняется попыткой уменьшить асимметрию. Здоровая конечность, имея более «широкий коридор» функциональных возможностей, «подстраивается» под поврежденную, что и нашло отражение в результатах кинематических характеристик КС и выявлялось в снижении как общей амплитуды движений, так и объемов сгибания-разгибания в ПО и ПП в обеих (!) конечностях при сравнении с группой контроля. Паттерн ходьба «перестраивается» таким образом, чтобы при минимально возможном изменении асимметрии уменьшить нагрузку на больной КС, что проявляется увеличением периода ДО, ПП и уменьшением времени на ОО при анализе временных характеристик (между «больной» и «здоровой» конечностями). Циркумдукция является отражением выраженности динамической нестабильности сустава. Так, увеличение 1/2 ширины шага за

счет «больной» конечности увеличивает площадь опоры во фронтальной плоскости, что в свою очередь улучшает постурологическую устойчивость (фронтальная нестабильность является маркером дегенеративных изменений в КС). Формы кривой отражают энергоэффективность движений колена при ходьбе. Так, U-образный тип может быть объяснен спазмом мышц, регулирующих кинематику сустава, и в первую очередь это четырехглавая мышца бедра. Наличие патологического зубца в W-образном типе гониограммы свидетельствует в пользу включения дополнительных мышечных групп в момент движения, когда динамическая нестабильность ходьбы наиболее выражена. Асимметрия в проявлении типов кривой гониограмм в исследуемой группе отражает степень адаптации опорно-двигательного аппарата к изменившимся в результате травмы условиям функционирования.

Выводы

1. У пациентов с застарелыми повреждениями менисков по сравнению с группой контроля отмечается увеличение периода опоры цикла шага в основном за счет периода двойной опоры, при этом явлено уменьшение периодов одиночной опоры и переноса.
2. У больных группы с застарелой травмой мениска КС наблюдалась увеличение 1/2 ширины шага в 66,7%, в основном за счет «больной» конечности.
3. При анализе кинематических характеристик ходьбы выявлено уменьшение амплитуды объема движений коленного сустава как в общем цикле шага, так и по отдельным периодам – в периоде опоры и периоде переноса.
4. Предложены к выделению при анализе гониограмм 3 типа кривых, два из которых установлены в 75% случаев в группе пациентов с травмой мениска (условно-патологические типы).

Список литературы

1. Котельников Г.П. Травматология: нац.рук. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2011. Т.193 (1104). 108 с.
2. Абдуразаков У.А., Набиев Е.Н., Байзаков А.Р. Анатомо-функциональные особенности менисков и причины их повреждений // Vestnic KazNMU. 2020. №1. С. 298-301.
3. Федулова Д.В. Проприоцептивная чувствительность при сочетанной травме мениска и передней крестообразной связки коленного сустава // Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. 2017. Т.12. №1. С. 188-196. DOI: 10.14526/01_2017_198.

4. Bolog NV, Andreisek G. Reporting knee meniscal tears: technical aspects, typical pitfalls and how to avoid them. *Insights Imaging*. 2016. V. 7(3). P. 385–398. DOI: 10.1007/s13244-016-0472-y.
5. 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. Т. 15, № 1. С. 48-52. DOI: 10.25881/BPNMSC.2020.78.71.009.