

ТЕСТ ХОДЬБЫ ПРИСТАВНЫМ ШАГОМ: ХАРАКТЕРИСТИКА КИНЕМАТИЧЕСКИХ И ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ В НОРМЕ И У ДЕТЕЙ, ПЕРЕНЕСШИХ ЛЕЧЕНИЕ ОПУХОЛИ ЗАДНЕЙ ЧЕРЕПНОЙ ЯМКИ

Д.В. Скворцов^{1,2,3}, В.Н. Касаткин⁴, А.Д. Айзенштейн^{3,4}, В.Н. Анисимов⁵

¹ Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова, Москва, Российская Федерация

² Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий Федерального медико-биологического агентства, Москва, Российская Федерация

³ Федеральный центр мозга и нейротехнологий, Москва, Российская Федерация

⁴ Лечебно-реабилитационный научный центр «Русское поле» ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева», Москва, Российская Федерация

⁵ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

Обоснование. В качестве клинического метода исследования функции ходьбы с усложненной координацией используется тест «тандемная походка» (*tandem gait, TG*), однако точные биомеханические параметры ходьбы в нем недостаточно исследованы. *TG* представляет собой модифицированную локомоцию ходьбы. Собственно ходьба — высокоавтоматизированное движение, а *TG* вносит в нее компонент произвольного контроля. **Цель исследования** — изучение функциональной и биомеханической симптоматики у детей с атактическим синдромом после лечения опухоли задней черепной ямки в отдаленный период. **Методы.** В исследовании приняли участие 15 здоровых испытуемых в возрасте от 12 до 35 ($20,4 \pm 7,2$) лет, из них 4 мужчин и 11 женщин, составивших группу контроля. Группа пациентов состояла из 33 детей в возрасте от 7 до 17 ($12,3 \pm 3,1$) лет, из них 15 мальчиков и 18 девочек, перенесших опухоль задней черепной ямки и поступивших на восстановительное лечение в Лечебно-реабилитационный научный центр «Русское поле». Проведено исследование кинематики ходьбы *TG* на комплексе *OptiTrack* (США). **Результаты.** Полученные результаты показали асимметрию длительности цикла шага и увеличение его продолжительности, пропорциональное тяжести функционального состояния. Движения таза характеризуются различными типами нарушений. Движения сгибания-разгибания в тазобедренных суставах демонстрируют запаздывание разгибания в конце периода переноса с незначительным снижением амплитуды, которое, возможно, возрастает с увеличением степени двигательных нарушений. Движения в коленных суставах демонстрируют два основных феномена — увеличение сгибательной установки сустава и снижение амплитуды основного махового сгибания. Кроме этого, имеется запаздывание максимума махового сгибания. Кинематические параметры *TG* обследуемых больных, в отличие от контрольной группы, не являются устойчивыми, предположительно, по причине того, что в норме такая модификация ходьбы легко автоматизируется и не требует произвольного контроля. У больных с атактическим синдромом после лечения опухоли задней черепной ямки каждый шаг в режиме *TG* требует дополнительного произвольного контроля, а устойчивость и повторяемость движения в этих условиях резко снижаются. **Заключение.** В отличие от рутинного клинического варианта теста анализ биомеханики движений позволяет дать точную качественную и количественную характеристику функциональных нарушений. По данным нашего исследования, нарушения двигательной функции развиваются на разных уровнях опорно-двигательного аппарата, а степень их выраженности хорошо согласуется с экспертной оценкой функционального состояния пациента.

Ключевые слова: опухоль задней черепной ямки; кинематика движений; автоматизм.

Для цитирования: Скворцов Д.В., Касаткин В.Н., Айзенштейн А.Д., Анисимов В.Н. Тест ходьбы приставным шагом: характеристика кинематических и временных параметров в норме и у детей, перенесших лечение опухоли задней черепной ямки. *Клиническая практика*. 2021;12(3):In Press. doi: <https://doi.org/10.17816/clinpract77018>

Поступила 29.07.2021

Принята 20.08.2021

Опубликована 01.09.2021

TANDEM GAIT TEST: KINEMATICS AND TEMPORAL PARAMETERS AT NORMAL CHILDREN AND PATIENTS SURVIVED AFTER POSTERIOR FOSSA TUMOR

D.V. Skvortsov^{1, 2, 3}, V.N. Kasatkin³, A.D. Aizenshtein^{3, 4}, V.N. Anisimov⁵

¹ The Russian National Research Medical University named after N.I. Pirogov, Moscow, Russian Federation

² Federal Research and Clinical Center of Specialized Medical Care and Medical Technologies FMBA of Russia, Moscow, Russian Federation

³ Federal Center of Brain and Neurotechnology, Moscow, Russian Federation

⁴ Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology, Medical and Rehabilitation Scientific Center "Russian Field", Moscow, Russian Federation

⁵ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

Background: A known method of researching walking function with complicated coordination — Tandem Gait (TG), which is used as a clinical one. The exact biomechanical walking parameters in this test remain poorly investigated. Moreover, TG is a modified locomotion of walking. Actually, walking is a highly automated movement. TG introduces a component of arbitrary control into it. **Aims:** The study of functional and biomechanical symptoms in children after treatment for the posterior fossa tumor in the long term. **Methods:** The study involved 15 healthy subjects aged 12 to 35 years (20.4 ± 7.2), among them 4 men and 11 women — control group. The group of patients comprised 33 children who had a tumor of the posterior cranial fossa (HF) at the age of 7 to 17 years (12.3 ± 3.1), of these 15 boys and 18 girls, who were admitted for rehabilitation treatment at the rehabilitation Center "Russkoe pole". A study of the kinematics of walking TG was made on the Optitrack system. **Results:** The results showed an asymmetry in the duration of the step cycle and an increase in its duration proportional to the severity of the functional state. The pelvis movements are shown different abnormalities. Flexion-extension movements in the hip joints are characterized by extension lag at the end of the transfer period and a slight decrease in amplitude, which may increase with an increase in the degree of motor impairment. Movements in the knee joints demonstrate two main phenomena: an increase in the flexion setting of the joint and a decrease in the amplitude of the main swing flexion. In addition, there is a delay in the maximum of the swing flexion. The kinematic parameters of the TG of the examined patients, in contrast to the control group, are not stable. Presumably, due to the fact, that normally such a modification of walking is easily automated and does not require arbitrary control. In patients with SCF, each step in the TG mode requires additional arbitrary control, and under these conditions, the stability and frequency of movement are sharply reduced. **Conclusions:** In contrast to the routine clinical version of the test, the analysis of the biomechanics of movements allows one to give an accurate qualitative and quantitative characterization of functional disorders. According to our research, motor function disorders develop at various levels of the musculoskeletal system. The degree of their severity is in good agreement with the expert assessment of the patient's functional state.

Keywords: posterior fossa tumor; kinematics of movement; automatics.

For citation: Skvortsov DV, Kasatkin VN, Aizenshtein AD, Anisimov VN. Tandem Gait Test: Kinematics and Temporal Parameters at Normal Children and Patients Survived After Posterior Fossa Tumor. *Journal of Clinical Practice*. 2021;12(3):In Press. doi: <https://doi.org/10.17816/clinpract77018>

Submitted 29.07.2021

Revised 20.08.2021

Published 01.09.2021

ОБОСНОВАНИЕ

Известен метод исследования функции ходьбы с усложненной координацией — приставным шагом (tandem gait, TG). TG достаточно широко используется в клинической практике для оценки атактических нарушений [1, 2], а также в качестве средства

тренировки функции равновесия [3]. TG является чувствительным тестом для пациентов с мозжечковой атаксией, которая является частым синдромом у больных с последствиями лечения опухолей задней черепной ямки. Данный тест в обычном клиническом применении используется в режиме оценки

времени при проходе определенного расстояния [4]. Однако в данном варианте тест отвечает только на вопрос, справляется ли пациент с заданием, и за какое время, но не отвечает, как и за счет каких ресурсов осуществляются собственно движение и сохранение равновесия. Для ответа на эти вопросы разрабатываются варианты исследования с помощью регистрации биомеханических параметров [3]. Тем не менее в настоящее время точные биомеханические критерии и нормативы для данного теста еще не разработаны. Остается неясной и собственно функциональная, биомеханическая симптоматика мозжечковой атаксии у больных после лечения опухолей задней черепной ямки.

Тест TG рассматривается нами еще и в качестве фактора модификации автоматизированной локомоции (ходьба). В варианте TG ходьба будет требовать произвольного контроля. Это усложнение первично автоматического движения мы рассматриваем в качестве своеобразной функциональной пробы, которая наряду с более высокими требованиями к функции баланса в значительной степени снижает функцию автоматизма.

Цель исследования — изучение функциональной, и биомеханической симптоматики у больных детей после лечения опухоли задней черепной ямки в отдаленный период.

Методы

Дизайн исследования

Когортное, проспективное.

Критерии соответствия

Критерии включения: последствия хирургического лечения опухоли задней черепной ямки от 1 года и более при наличии стойкой атаксии, при этом функциональное состояние позволяет выполнить тест ходьбы приставным шагом без риска падения, с пациентом имеется вербальный контакт, достаточный для понимания и выполнения необходимых инструкций; отсутствует декомпенсированная соматическая патология.

Критерии исключения: неспособность выполнить тест (угроза потери равновесия и падения); возраст младше 7 лет; отказ пациента или его родителя от тестирования.

Условия проведения

Исследование выполнено в период с 2018 по 2020 г. в лаборатории биомеханики Лечебно-реабилитационного научного центра «Русское поле»

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева» Минздрава России.

Описание медицинского вмешательства

Методика исследования: испытуемому предлагалось пройти строго по прямой линии, обозначенной на полу белой полосой шириной 5 см. Исходное положение — ноги на ширине плеч, руки опущены вдоль тела. По команде обследуемый проходил по данной линии, последовательно приставляя носок одной ноги к пятке другой, удерживая при этом равновесие. Общая длина пути 4,5 м.

Методы регистрации исходов

Регистрация биомеханики движений проводилась с помощью оптико-электронной системы OptiTrack (США) с использованием 12 камер с частотой 100 Гц. Применялась стандартная модель с расположением маркеров (рис. 1).

На обследуемом устанавливали набор из 26 светоотражающих маркеров (см. рис. 1). Регистрировали гониограммы тазобедренного и коленного суставов в сагиттальной плоскости и перемещение таза в вертикальной и фронтальной плоскостях,

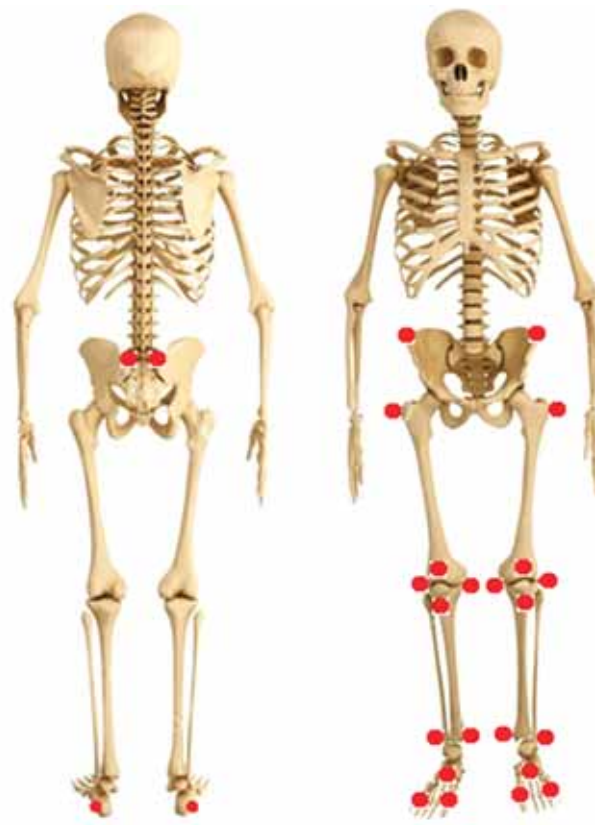


Рис. 1. Места крепления маркеров.
Fig. 1. The markers placement.

а также временные характеристики цикла шага: цикл шага (ЦШ в сек); начало второй двойной опоры (НВД в % цикла шага).

Начало и конец каждого цикла шага каждой из сторон (левой или правой) расставляются вручную по данным перемещения маркеров, расположенных на пятке, после чего формируется отчет, содержащий кинематические параметры в формате цикла шага.

Этическая экспертиза

Исследование одобрено локальным этическим комитетом, протокол № 8э/15-17 от 27.10.2017.

Статистический анализ

Обработка полученных результатов была проведена стандартными методами вариационной статистики (среднее арифметическое и среднеквадратического отклонение ($M \pm \sigma$)) с помощью программного обеспечения Statistica 12. Оценка достоверности различий проводилась с помощью критериев Вилкоксона и Манна-Уитни при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты

Объекты (участники) исследования

С целью получения параметров зрелой локомоции в исследовании приняли участие 15 здоровых испытуемых в возрасте от 12 до 35 (средний возраст $20,4 \pm 7,2$) лет, из них 4 мужчин и 11 женщин, не имевших в анамнезе травм и заболеваний опорно-двигательного аппарата (группа контроля). Известно, что основные параметры ходьбы складываются к 12 годам [5] и остаются неизменными до пожилого возраста [6, 7].

В группу пациентов вошли 33 ребенка в возрасте от 7 до 17 (средний возраст $12,3 \pm 3,1$) лет, из них 15 мальчиков и 18 девочек, перенесших лечение опухоли задней черепной ямки и посту-

пивших на восстановительное лечение в ЛРНЦ «Русское поле». Пациентов с медуллобластомой мозжечка (код по МКБ-10 C71.6) было 14, с астроцитомой мозжечка (D33.1) — 12, с ганглиомой мозжечка (C72.8) — 2, с анапластической эпендиомой мозжечка (C71.6) — 2, с нейроцитомой мозжечка (C71.0) — 2, с нейроэктодермальной опухолью правой теменной области головного мозга (C71.3) — 1.

Проводилось однократное биомеханическое исследование ходьбы при поступлении пациента на плановое восстановительное лечение.

Основные результаты исследования

Пациенты разделены на 4 группы по степени биомеханических и функциональных нарушений методом экспертной оценки: 1-я — легкая асимметрия ($n=18$); 2-я — приближены к нормотипичным детям ($n=7$); 3-я — сильная асимметрия, наличие гемипареза ($n=3$); 4-я — тяжелые двигательные расстройства ($n=5$).

Временные характеристики ходьбы отражены в табл. 1. Для контрольной группы можно отметить, что длительность ЦШ в модификации TG существенно выше, чем для обычной ходьбы в произвольном темпе [8]. При этом начало ЦШ другой ноги (параметр НВД) соответствует 50%—Длительность ЦШ во всех исследованных группах значительно превышает значение в контрольной группе и достигает максимальной величины в группе тяжелых больных, у которых к тому же значение еще и асимметрично. Среднее значение параметра НВД не показывает значительной асимметрии: следовательно, реципрокность не нарушается существенно ни в одной из обследованных групп.

Графики перемещения таза в вертикальном и боковом направлениях в ЦШ показаны на рис. 2.

Вертикальные перемещения представляют собой циклические движения с двумя максимумами в середине периода опоры той и другой ноги. Фак-

Таблица 1 / Table 1

Временные характеристики ходьбы в исследованных группах, ($M \pm \sigma$)
Temporal gait parameters patient's group, ($M \pm \sigma$)

Параметр	Сторона	Группа (возраст, лет)				
		1-я (13,6±2,9)	2-я (12,0±2,6)	3-я (12,3±3,5)	4-я (11,6±3,5)	Контроль (20,7±7,3)
ЦШ, с	Левая	2,4±0,5	3,8±1,2	3,3±0,9	5,1±3,6	1,9±0,4
	Правая	2,4±0,6	3,8±1,1	3,1±1,2	3,9±2,1	2,0±0,4
НВД, %	Левая	49,4±1,8	50,2±7,2	50,4±18,9	47,6±17,9	50,1±2,1
	Правая	50,4±2,2	48,9±7,0	52,3±11,7	47,6±4,5	50,2±3,5

Примечание. ЦШ — цикл шага; НВД — начало второй двойной опоры.

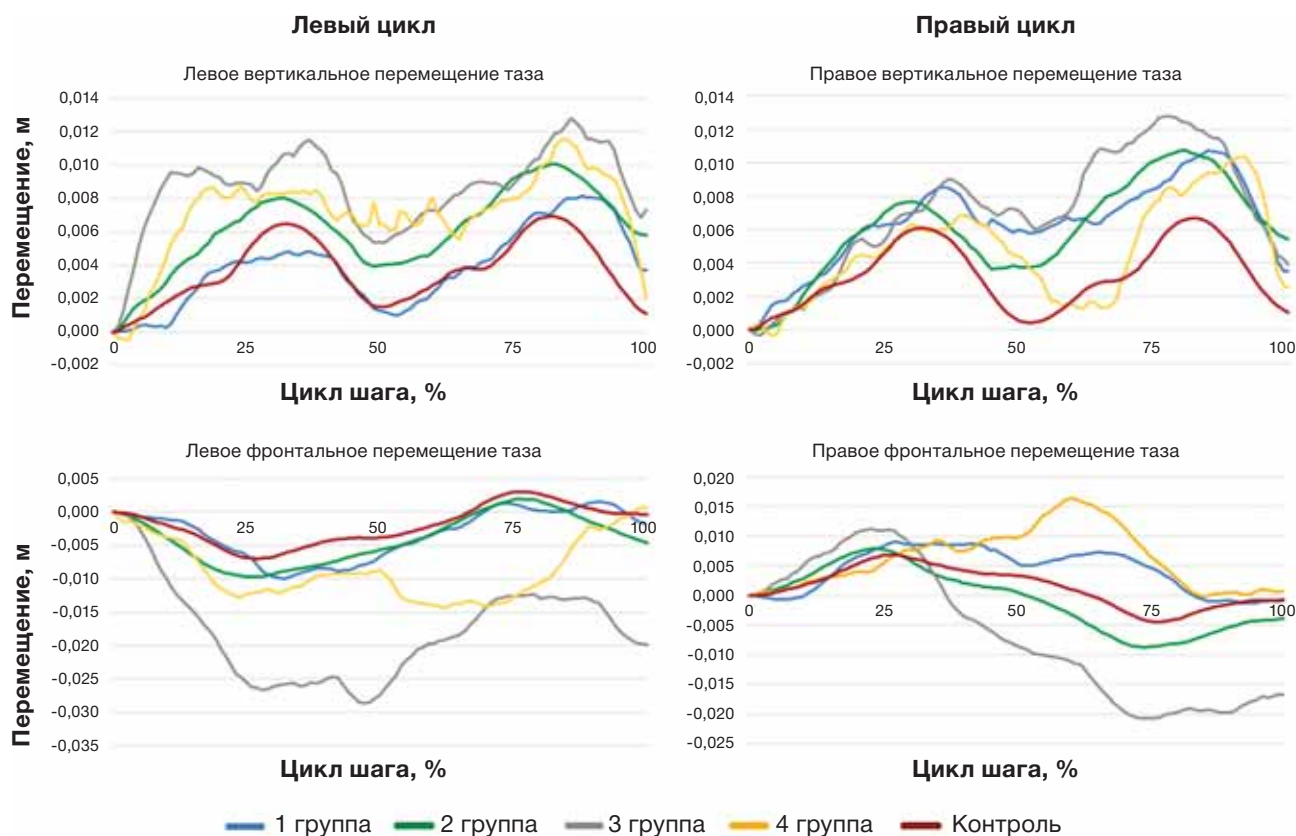


Рис. 2. Графики перемещений таза в цикле шага в вертикальной (верхний ряд) и фронтальной (нижний ряд) плоскостях.
Fig. 2. The graphs of pelvis displacement at walking cycle at vertical (upper row), frontal (bottom row).

тически, это одна кривая, разбитая на ЦШ левой и правой ноги. График второй группы довольно точно соответствует таковому для контрольной. В левом ЦШ достоверное отличие от контрольной группы имеется для графиков всех групп, кроме первой ($p < 0,05$). Сами группы также имеют достоверные отличия в графиках. Аналогичный вариант имеется и для правого ЦШ.

Фронтальные перемещения таза за ЦШ представляют собой синусоиду с максимумом вправо или влево в зависимости от аналогичных циклов. Для левого ЦШ имеются достоверные отличия от контрольной группы во второй, третьей и четвертой группах. В силу того, что по данным параметрам имеются значительные отличия в группах, то все кривые достоверно отличаются от друг от друга и графика контрольной группы ($p < 0,05$).

Гониограммы движений в тазобедренных и коленных суставах представлены на рис. 3.

Гониограммы движений в контрольной группе мало отличаются от графиков обычной ходьбы [9], но имеют ряд специфичных для этого варианта ходьбы изменений. Так, возрастает амплитуда возвратного движения тазобедренных суставов, что является результатом постановки одной стопы

перед другой. В коленном суставе полностью редуцируется первое сгибание, а второе сгибание по причине меньшей активности в периоде переноса ниже по амплитуде. Движения правой и левой сторон симметричны.

Отмечено, что движения в тазобедренных суставах для всех групп больных достоверно отличаются от контрольной группы. Четвертая и первая группы имеют отличия от всех других групп пациентов; вторая и третья достоверно отличаются от первой и четвертой. Тазобедренные суставы имеют сниженную амплитуду и не достигают полного разгибания. Коленные суставы также находятся в положении незначительного сгибания, и основная, маховая, амплитуда в них сильно редуцирована. Обращает на себя внимание и запаздывание максимального сгибания тазобедренного и коленного суставов в третьей и четвертой группах, т.е. у пациентов с наиболее выраженными функциональными изменениями.

Для движений в коленных суставах характерно достоверное отличие всех обследуемых групп от контрольной, при этом для правого коленного сустава в четвертой группе движения достоверно отличаются от других групп пациентов. Для левого

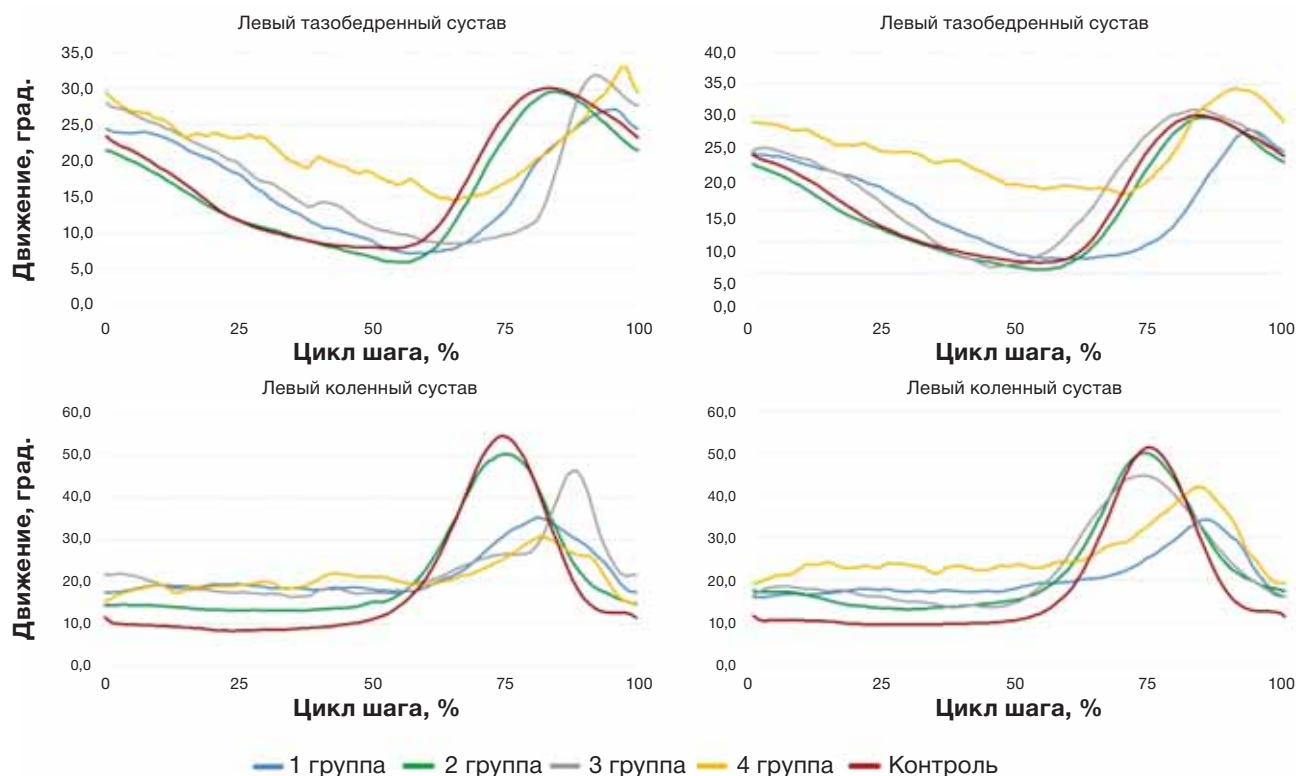


Рис. 3. Гониограммы движений в тазобедренных и коленных суставах.

Fig. 3. Goniograms of movement at hip and knee joints.

коленного сустава только четвертая группа имеет достоверные отличия от первой.

Дисперсионный анализ (ANOVA), а также множественные сравнения с поправкой Тьюки-Крамера по группам обнаружил наличие достоверных различий ($p < 0,05$) между всеми группами, включая группу контроля.

ОБСУЖДЕНИЕ

В доступной литературе мы не обнаружили источников, содержащих аналогичные данные для сравнения. Некоторые работы содержат компоненты кинематического анализа. В работе S. Kawakami и соавт. [10] проведен 3D-анализ ходьбы TG, однако в данном исследовании методика ходьбы была иной, что не позволяет провести сравнение. В исследовании H.S. Cohen и соавт. [11] использован инерционный сенсор, фиксированный сзади на уровне середины туловища, данные с которого существенно отличаются от анализируемых нами.

По результатам выполненного исследования, ходьба TG невозможна без специального произвольного контроля; кроме этого, данный тип ходьбы предъявляет значительные требования к функции равновесия, поэтому показатель ЦШ даже в контрольной группе существенно выше нормы — 2 сек против 1,2 [8]. В целом данный параметр име-

ет тенденцию к увеличению по мере нарастания функциональных нарушений. Другое характерное изменение, которое также широко известно и для обычной ходьбы — асимметрия длительности ЦШ. В нашем исследовании это хорошо видно на примере четвертой группы (пациенты с наиболее тяжелыми расстройствами). Параметр НВД не обнаруживает существенных изменений в группах больных, хотя в индивидуальных случаях встречаются значительные асимметрии, что является симптомом нарушения реципрокности, поэтому этот показатель может быть полезен для индивидуального анализа.

Показатели движения таза в контрольной группе, полученные нами, обладают незначительными отличиями от таковых при обычной ходьбе, что согласуется с литературными данными [12]. Таз при ходьбе выполняет роль балансира-компенсатора, который выравнивает движения нижних конечностей с их разностью в полпериода ЦШ в гармоничные колебания, которые при согласованной работе поясничного отдела позвоночника позволяют передавать туловищу минимальное количество толчков и движений.

В единственном известном нам исследовании TG с помощью системы видеонализа [3], как и в нашей работе, за основу оценки были взяты перемещения в абсолютном времени, тем не ме-

нее, разные принципы регистрации и полученные с их помощью данные, не позволили их сравнить. Кроме этого, в нашем исследовании использована более полная пространственная модель таза, включающая четыре маркера.

Движения сгибания-разгибания в тазобедренных суставах в исследованных группах характеризуются, в первую очередь, запаздыванием разгибания в конце периода переноса (возвратное движение бедра) и незначительным снижением амплитуды, которое, возможно, возрастает с увеличением степени двигательных нарушений.

Движения в коленных суставах демонстрируют два основных феномена — увеличение сгибательной установки сустава и снижение амплитуды основного махового сгибания. Кроме этого, имеется запаздывание максимума махового сгибания.

Кинематические параметры TG обследуемых больных, в отличие от контрольной группы, не являются устойчивыми, предположительно, по причине того, что в норме такая модификация ходьбы легко автоматизируется и не требует произвольного контроля. У больных с атактическим синдромом после лечения опухоли задней черепной ямки каждый шаг в режиме TG требует дополнительного произвольного контроля, а в этих условиях устойчивость и повторяемость движения резко снижаются.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, у больных с последствиями лечения опухолей задней черепной ямки для выявления функциональных нарушений можно использовать TG в качестве функционального теста. TG существенно деавтоматизирует походку, что позволяет оценить атактические нарушения, маскируемые автоматизмом, однако более точно это может показать исследование в сравнении с обычной ходьбой.

В отличие от рутинного клинического варианта теста TG, анализ биомеханики движений позволяет дать точную качественную и количественную характеристику функциональных нарушений. По данным нашего исследования, нарушения двигательной функции развиваются на разных уровнях опорно-двигательного аппарата системы. Степень их выраженности согласуется с экспертной оценкой функционального состояния пациента.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Скворцов Д.В. — формирование дизайна исследования, поиск и обработка литературы, проведение исследования, обра-

ботка данных, написание текста статьи; Айзенштейн А.А. — сбор и первичный анализ данных, написание раздела «Пациенты и методы»; Анисимов В.Н. — статистический анализ данных исследования; Касаткин В.Н. — общий дизайн исследования, функциональный тест, организация исследования. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Author contribution. Skvortsov D.V. — research design, search and processing of literature, research, data processing, writing the text of the article; Aizenstein A.A. — collection and primary analysis of data, writing the section “Patients and Methods”; Anisimov V.N. — statistical analysis of research data; Kasatkin V.N. — general research design, functional test, research organization. The authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Источник финансирования. Работа выполнена за счет средств госбюджета.

Funding source. The work was carried out at the expense of the state budget.

Конфликт интересов. Авторы данной статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов.

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

Благодарности. Авторы выражают благодарность А.А. Шипилову за техническую помощь при проведении исследования.

Acknowledgments. The authors are grateful to A.A. Shipilov for technical assistance during the study.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Brooks MA, Snedden TR, Mixis B, et al. Establishing baseline normative values for the child sport concussion assessment tool. *JAMA Pediatr.* 2017;171(7):670–677. doi: 10.1001/jamapediatrics.2017.0592
2. Oldham JR, DiFabio MS, Kaminski TW, et al. Normative tandem gait in collegiate student-athletes: Implications for clinical concussion assessment. *Sports Health.* 2017;9(4):305–311. doi: 10.1177/1941738116680999
3. Dozza M, Wall C, Peterka RJ, et al. Effects of practicing tandem gait with and without vibrotactile biofeedback in subjects with unilateral vestibular loss. *J Vestib Res.* 2007;17(4):195–204.

4. Santo A, Lynall RC, Guskiewicz KM, Mihalik JP. Clinical utility of the sport concussion assessment tool 3 (SCAT3) tandem-gait test in high school athletes. *J Athl Train*. 2017;52(12):1096–1100. doi: 10.4085/1062-6050-52.11.26
5. Sutherland DH, Olshen RA, Biden EN, Wyatt MP. The development of mature walking. MacKeith Press, London; 1988. 227 p.
6. Murray MP, Drought AB, Kory RC. Walking patterns of normal men. *J Bone Joint Surgery (Am)*. 1964;46A:335–360.
7. Murray MP, Kory RC, Clarkson BH. Walking patterns in healthy old men. *J Gerontology*. 1969;24(2):169–178.
8. Parry J. Gait analysis: normal and pathological function. SLACK Incorporated; 1992.

ОБ АВТОРАХ

Автор, ответственный за переписку:

Скворцов Дмитрий Владимирович, д.м.н., профессор;
адрес: Российская Федерация, 115682, Москва,
Ореховый бульвар д. 28;
e-mail: skvortsov.biom@gmail.com; eLibrary SPIN: 6274-4448;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2794-4912>

Соавторы:

Касаткин Владимир Николаевич, д.м.н., профессор;
e-mail: kasatkinv@bk.ru;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1142-9796>

Айзенштейн Алина Дмитриевна, н.с.с.;
e-mail: kagina19@mail.ru;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7442-0903>

Анисимов Виктор Николаевич, к.б.н., н.с.с.;
e-mail: victor_anisimov@neurobiology.ru;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5134-7675>

9. Winter DA. The biomechanics and motor control of human gait: normal, elderly and pathological. 2nd ed. Published by John Wiley & Sons, New York; 1991. 143 p.

10. Kawakami S, Fujisawa H, Tomizawa Y, Murakami K. Kinematic analysis of tandem gait on a sine wave walkway. *J Phys Ther Sci*. 2016;28(9):2430–2433.

11. Cohen HS, Mulavara AP, Peters BT, et al. Sharpening the tandem walking test for screening peripheral neuropathy. *South Med J*. 2013;106(10):565–569. doi: 10.1097/SMJ.0000000000000009

12. Lewis CL, Laudicina NM, Khuu A, Loverro KL. The human pelvis: variation in structure and function during gait. *Anat Rec (Hoboken)*. 2017;300(4):633–642. doi: 10.1002/ar.23552

AUTHORS INFO

The author responsible for the correspondence:

Dmitry V. Skvortsov, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;
address: Orekhoviy bulvar, 28, Moscow 115682, Russia;
e-mail: skvortsov.biom@gmail.com;
eLibrary SPIN: 6274-4448;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2794-4912>

Co-authors:

Vladimir N. Kasatkin, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;
e-mail: kasatkinv@bk.ru;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1142-9796>

Alina D. Aizenshtein, Research Associate;
e-mail: kagina19@mail.ru;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7442-0903>

Victor N. Anisimov, Cand. Sci. (Biol.), Research Associate;
e-mail: victor_anisimov@neurobiology.ru;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5134-7675>