

DOI: 10.15593/RZhBiomech/2017.4.09
УДК 531/534: [57+61]



**Российский
Журнал
Биомеханики**
www.biomech.ru

ОЦЕНКА БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ХОДЬБЫ У ПАЦИЕНТОВ В ПОЗДНЕМ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОМ ПЕРИОДЕ ИНСУЛЬТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ПОХОДКИ

В.А. Бронников^{1, 2}, В.Б. Смычѣк³, К.А. Складная^{1, 2}, Ю.И. Няшин⁴, В.Н. Никитин⁴

¹ Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера Министерства здравоохранения Российской Федерации, Россия, 614990, Пермь, ул. Петропавловская, 26, e-mail: skks1008@mail.ru

² Центр комплексной реабилитации инвалидов, Россия, 614094, Пермь, ул. Связистов, 11а, e-mail: skks1008@mail.ru

³ Республиканский научно-практический центр медицинской экспертизы и реабилитации, Республика Беларусь, 223027, Минская обл., Минский р-н, пос. Городище, e-mail: priemnaia.meir@mail.ru

⁴ Кафедра теоретической механики и биомеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета, Россия, 614990, Пермь, Комсомольский проспект, 29, e-mail: nikitinvladislav86@gmail.com

Аннотация. После инсульта нарушение походки – основная причина инвалидизации пациентов. Контроль состояния походки у постинсультного пациента в процессе реабилитации является актуальной задачей решения проблемы восстановления двигательной активности и мобильности пациентов. В работе представлены результаты обследования 50 человек: 34 пациента в позднем восстановительном периоде инсульта и 16 здоровых добровольцев. Была проведена оценка биомеханических характеристик ходьбы по горизонтальной поверхности у пациентов в позднем восстановительном периоде инсульта. Было установлено, что применение методики анализа движения позволяет определить биомеханические особенности, которые отражают патологические варианты организации движения, что может быть прогностическим фактором восстановления двигательных навыков или развития компенсаторных механизмов. Предполагается, что данная методика позволяет построить модель нарушения движения и оценить влияние клинических улучшений на биомеханические процессы.

Ключевые слова: биомеханика ходьбы, инвалидизация пациентов, восстановление после инсульта, компенсаторные механизмы.

ВВЕДЕНИЕ

Двигательные нарушения после инсульта являются основной причиной инвалидизации пациентов; в 80–90% случаев двигательная патология проявляется синдромом гемипареза, т.е. нарушением подвижности в правых или левых конечностях, отличающимся степенью выраженности и характером проявлений [3, 8, 13]. Контроль состояния двигательных функций, прежде всего походки у постинсультного пациента в процессе реабилитации, является актуальной задачей [10]. Важную роль в формировании двигательного дефекта играют нарушения движений

© Бронников В.А., Смычѣк В.Б., Складная К.А., Няшин Ю.И., Никитин В.Н., 2017

Бронников Владимир Анатольевич, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой медико-социальной экспертизы и реабилитации; директор, врач центра комплексной реабилитации инвалидов, Пермь
Смычѣк Василий Борисович, д.м.н., профессор, директор, Городище, Минский р-н, Республика Беларусь
Складная Ксения Александровна, врач-невролог центра комплексной реабилитации инвалидов, Пермь
Няшин Юрий Иванович, д.т.н., профессор кафедры теоретической механики и биомеханики, Пермь
Никитин Владислав Николаевич, старший преподаватель кафедры теоретической механики и биомеханики, Пермь

в суставах пораженной конечности, а также поструральные нарушения [12]. В норме локомоторный цикл состоит из закономерных фаз, описывающих взаимодействие нижних конечностей с опорной поверхностью. При этом в коленном суставе осуществляется последовательно сгибание и разгибание [5]. При инсульте изменяются такие интегральные критерии, как средняя скорость передвижения и ее две характеристики – темп и длина шага. Усугубление патологической походки приводит к снижению средней скорости передвижения, редукции темпа и длины шага у инвалидов неврологического профиля; при возрастании интенсивности поражения более значительно изменяется длина шага по сравнению с темпом [7].

Физиологический стереотип ходьбы сменяется патологическим вследствие перемещения центра тяжести во время ходьбы на «здоровую» конечность. При этом пациенты осуществляют шаг либо по типу «тройного сгибания», т.е. выраженного сгибания одновременного в тазобедренном, коленном и голеностопном суставах в начале шага, либо полукруглое движение прямой ногой вокруг туловища, так называемая циркумдуцирующая походка [1]. Система анализа походки является значимым диагностическим инструментом для определения биомеханических характеристик нарушений ходьбы [6]. В настоящее время активно исследуются возможности анализа ходьбы при различных патологиях [11].

Анализ биомеханических параметров движений в суставах при ходьбе использовался для оценки функционального состояния нижних конечностей на ранних стадиях коксартроза с оценкой углов вращения, угловых скоростей и ускорений [2]. При исследовании биомеханических характеристик ходьбы при заболеваниях и травмах опорно-двигательного аппарата было установлено диагностическое значение параметров угловых скоростей, линейных и угловых ускорений, а также оценки симметричности локомоции [9]. При анализе кинематических параметров ходьбы при инсульте было выявлено изменение скорости ходьбы, длительности двойного шага, длительности фазы опоры и фазы переноса [15], а также уменьшение длины шага, изменение углов вращения в тазобедренном суставе и изменение длины первого шага при оценке перехода из положения сидя в положение стоя и ходьбы [17]. Причем изменения в биомеханике движений наблюдались как с пораженной, так и со здоровой стороны, при этом со здоровой стороны они были менее выражены [16]. Также были изучены возможности использования биомеханических параметров ходьбы в качестве прогностических факторов эффективности двигательной реабилитации ходьбы [14]. Таким образом, использование методики биомеханического анализа движения в составе диагностических и прогностических методик активно исследуется и позволяет объективно оценить двигательные возможности пациентов, смоделировать нарушенный стереотип ходьбы и определить реабилитационный потенциал у обследуемых. Авторами была проведена оценка биомеханических характеристик ходьбы по горизонтальной поверхности у пациентов в позднем восстановительном периоде инсульта.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Всего было обследовано 50 человек, из них основная группа – пациенты в позднем восстановительном периоде инсульта и контрольная группа – здоровые добровольцы (таблица).

В состав основной группы вошли 34 человека. Все они являлись клиентами центра комплексной реабилитации инвалидов и проходили курс реабилитации в 2016 г. Возраст испытуемых в среднем составил 41,5 г., рост – от 156 до 185 см (в среднем 170,5 см), масса – от 56,3 до 97,2 кг (в среднем 76,75 кг). Все пациенты перенесли

Средние значения основных характеристик обследуемых

Показатель	Основная группа (n = 34), M ± σ	Контрольная группа (n = 16), M ± σ
Возраст	41,50 ± 3,31	30,34 ± 5,70
Пол:		
– мужчины	21	9
– женщины	13	5
Срок инсульта	13,54 ± 6,10	–
Тип инсульта:		
– ишемический	21	–
– геморрагический	13	–
Локализация поражения:		
– бассейн правой средней мозговой артерии	16	–
– бассейн левой средней мозговой артерии	18	–

инсульт в бассейнах левой или правой средней мозговой артерии не менее чем за 6 месяцев до начала исследования. Ведущим синдромом у обследуемых являлся гемипарез, проявляющийся нарушением движений (в том числе ходьбы) и мышечной слабостью в ноге и руке на одной стороне. Пациенты получали стандартный курс комплексной реабилитации в течение 21 дня, в который входили следующие мероприятия: лечебная физкультура, кинезиотерапия и механотерапия, лечебный массаж, физиотерапевтические процедуры, нейропсихологическая, логопедическая реабилитация, социально-бытовая адаптация. В состав контрольной группы вошли 16 человек в возрасте от 19 до 56 лет. Рост испытуемых колебался от 158 до 182 см (в среднем 170 см), масса – от 51,8 до 84 кг (в среднем 67,9 кг). Всем исследуемым был проведен трехметровый тест: пациента просили пройти три метра, повернуться и вернуться в исходное положение. Биомеханические параметры записывались с помощью реабилитационно-диагностического комплекса «TRUST-M». Пять автономных блоков «TRUST-M» (датчиков) фиксирующими манжетами устанавливали следующим образом: 1 – на крестец, 2 – латерально на середину левого бедра, 3 – латерально на середину правого бедра, 4 – латерально на середину левой голени, 5 – латерально на середину правой голени. Стоит отметить, что при закреплении датчиков на испытуемом, который стоит к нам левым боком, на 2-м и 4-м датчиках ось *x* направлена вверх, ось *y* направлена вправо, а ось *z* от нас; на 3-м и 5-м датчиках ось *x* направлена вверх, ось *y* направлена влево, а ось *z* на нас; на 1-м датчике ось *x* направлена вверх, ось *y* – от нас, а ось *z* влево. Таким образом, сгибание бедра будет характеризоваться движением вокруг оси *z*. А, например, поворот таза будет характеризоваться движением вокруг оси *x*.

Обработка полученных данных проводилась в программе *Microsoft Excel 2013*.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Во время теста при оценке ходьбе здоровых испытуемых по горизонтальной поверхности темп составил 92 шаг/мин, средняя скорость – 1,22 м/с (4,4 км/ч). Временные показатели ходьбы по горизонтальной поверхности соответствуют литературным данным [8, 13].

У исследуемых в основной группе при оценке скорости ходьбы по горизонтальной поверхности темп ходьбы составил 49 шаг/мин, что практически в два раза меньше по сравнению со здоровыми лицами. Средняя скорость ходьбы была равна

0,28 м/с (1 км/ч), что также значительно ниже, чем у обследуемых в контрольной группе. Снижение этих параметров характерно для пациентов с выраженными или значительно выраженными статодинамическими нарушениями, ведущими к формированию патологического стереотипа ходьбы. Можно отметить, что у большинства обследуемых пациентов сформировался стереотип, снижающий эффективность походки путем снижения скорости и темпа ходьбы.

При анализе полученных значений угловых скоростей при ходьбе по горизонтальной поверхности здоровых испытуемых и пациентов с инсультом на этапе поздней реабилитации установили, что область полученных экстремальных значений угловых ускорений больше при патологической ходьбе у пациентов с инсультом. Так, экстремальные значения по оси y на 1-м датчике $(-1,79; 8,97)$ у пациентов с правосторонним гемипарезом и значения по оси z $(-2,27; 8,18)$ у пациентов с левосторонним гемипарезом по сравнению с данными у обследуемых контрольной группы: $(-2,11; 3,45)$ по оси y и $(-6,72; 2,91)$ по оси z менее симметричны, что свидетельствует о патологическом положении таза при ходьбе у постинсультных пациентов. Это связано, вероятнее всего, со стереотипом ходьбы и компенсаторным усилением влияния непораженной половины тела. Эти данные подтверждаются результатами предыдущих исследований авторов [4], когда при стабилметрической оценке биомеханических параметров позы стоя было выявлено нарушение распределения центра тяжести у пациентов после инсульта. Также наблюдалось перемещение центра тяжести на непораженную конечность. Таким образом, биомеханические нарушения в позднем восстановительном периоде инсульта характеризуются усилением влияния непораженной нижней конечности в положении стоя и при ходьбе, что является основой формирования патологического стереотипа в большинстве случаев.

При изучении данных, полученных с датчика на бедре, выявлено выраженное отклонение средних значений по оси x у обследуемых в основной группе, проявляющееся на здоровой конечности. Так, у пациентов с левосторонним гемипарезом значения датчиков с правого бедра составляли $(-10,19; 7,90)$, а у пациентов с правосторонним гемипарезом датчики с левого бедра выявили следующие значения максимальных амплитуд: $(-4,21; 18,25)$. При этом у обследуемых в контрольной группе показатели этих датчиков составили $(-8,89; 6,73)$ с левого бедра и $(-11,7; 4,97)$ с правого. Это свидетельствует о компенсаторных изменениях в стереотипе движений в непораженной ноге и, таким образом, изменении нормальной биомеханики также и в непораженной нижней конечности, т.е. при формировании патологического стереотипа ходьбы после инсульта отмечаются значимые биомеханические изменения в движениях обеих ног. Можно отметить, что у пациентов с правосторонним гемипарезом имеется более выраженная асимметрия в показателях с датчика на непораженной ноге, что свидетельствует о вовлечении здоровой конечности в процесс движения, выполнении ею компенсаторной функции. При отсутствии достоверных различий в выраженности гемипареза (мышечная сила, мышечный тонус) в зависимости от латерализации у пациентов с правосторонним гемипарезом, тем не менее, наблюдаются более выраженные биомеханические изменения при ходьбе как с пораженной, так и со здоровой стороны. Это может быть связано как с большим снижением произвольного контроля движений у пациентов с левосторонним поражением, так и с влиянием латерализации на формирование вида патологического стереотипа. Так, у этих пациентов можно наблюдать более выраженный патологический стереотип ходьбы с наличием циркумдуцирующей походки.

У пациентов с левосторонним гемипарезом была выявлена выраженная асимметрия по данным датчика 4 по оси x $(-5,93; 30)$ на левой голени. Таким образом, у пациентов с левосторонним гемипарезом идет формирование другого патологического

стереотипа ходьбы с выраженным нарушением биомеханики шага на уровне коленного и голеностопного суставов. При этом, согласно биомеханическим показателям, достоверных отличий биомеханических показателей от контрольной группы не выявлено. Это может говорить о менее выраженном вовлечении непораженной конечности в патологический стереотип. При рассмотрении значений максимальных амплитуд угловых скоростей можно отметить функциональную асимметрию правой и левой конечностей, которая сохраняется вне зависимости от стороны пареза. Тем не менее отмечается уменьшение амплитуды вертикальной составляющей (z) в сегменте бедра и голени с паретичной стороны, что является проявлением снижения скорости шага и свидетельствует об уменьшении переменных нагрузок на опорно-двигательный аппарат.

Выявленные изменения свидетельствуют о наличии различий в формировании патологических стереотипов у пациентов в позднем восстановительном периоде инсульта, выражающихся в изменениях биомеханических показателей. Необходимо расширить объем исследования для получения большего количества достоверных корреляций и нахождения факторов, определяющих биомеханические изменения биомеханики ходьбы у пациентов после инсульта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Было установлено, что использование методики анализа движения позволяет определить биомеханические особенности, свидетельствующие о патологическом варианте организации движения, что может быть прогностическим фактором восстановления двигательных навыков или развития компенсаторных механизмов. Также эта методика позволяет построить модель нарушения движения и оценить влияние клинических улучшений на биомеханические процессы.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Пермского края в лице Министерства образования и науки Пермского края (Соглашение № С-26/004-01 от 12.01.2015 о предоставлении и целевом использовании субсидии на реализацию научного проекта международной исследовательской группой ученых на базе государственного образовательного учреждения и (или) научной организации Пермского края).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аброськина М.В., Протопенко С.В., Ондар В.С., Кайгородцева С.А., Гасымлы Э.Д. Коррекция стереотипа ходьбы у больных с синдромом центрального гемипареза методом активизации заднего толчка стопы // Вестник восстановительной медицины. – 2015. – № 1. – С. 14–18.
2. Бирюкова Е.В., Гурьев В.В., Зоря В.И., Прокопенко Р.А., Фролов А.А. Биомеханический анализ показателей движений в тазобедренном, коленном и голеностопном суставах у больных с коксартрозом как метод функциональной диагностики // Acta Biomedica Scientifica. – 2010. – Vol. 6, № 1. – Р. 21–30.
3. Бронников В.А., Смычек В.Б., Мавликаева Ю.А., Скланная К.А., Кравцов Ю.И., Плотникова О.А., Вильдеман А.В. Оценка восстановления двигательных функций у постинсультных пациентов в процессе комплексной реабилитации с использованием роботизированной кинезиотерапии // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. – 2016. – Т. 116, № 9. – С. 30–34.
4. Бронников В.А., Смычек В.Б., Мавликаева Ю.А., Скланная К.А., Кравцов Ю.И., Горбачева А.О., Вильдеман А.В. Характеристика стабилметрических и клинических показателей у пациентов с последствиями инсульта в процессе комплексной реабилитации // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. – 2016. – Т. 116, № 8. – С. 65–70.
5. Витензон А.С., Петрушанская К.А. К фазовому анализу ходьбы и некоторых ритмических движений человека // Российский журнал биомеханики. – 2005. – № 1. – С. 19–35.

6. Витензон А.С., Петрушанская К.А. От естественного к искусственному управлению локомоцией. – М., 2003. – 450 с.
7. Витензон А.С., Петрушанская К.А., Миронов Е.М. Интегральные клинические критерии для анализа патологической походки у больных и инвалидов с повреждением опорно-двигательной системы // Медико-социальная экспертиза и реабилитация. – 2004. – № 4. – С. 6–8.
8. Дамулин И.В. Постинсультные двигательные нарушения // Consilium medicus. – 2002. – Т. 5, № 2. – С. 64–70.
9. Ефимов А.А. Информативность биомеханических параметров походки для оценки патологии нижних конечностей // Российский журнал биомеханики. – 2012. – № 1. – С. 80–88.
10. Скворцов Д.В. Диагностика двигательной патологии инструментальными методами: анализ походки, стабилметрия. – М., 2007. – 640 с.
11. Скворцов Д.В., Иванова Г.Е., Поляев Б.А., Стаховская Л.В. Диагностика и тестирование двигательной патологии инструментальными средствами // Вестник восстановительной медицины. – 2013. – № 5. – С. 74–78.
12. Скворцова В.И., Иванова Г.Е., Климов Л.В., Скворцов Д.В. Тестирование баланса в вертикальном положении и функции ходьбы у больных с церебральным инсультом // Вестник восстановительной медицины. – 2012. – № 6. – С. 22–27.
13. Скворцова В.И., Иванова Г.Е., Румянцева Н.А. Современные подходы к восстановлению ходьбы у больных в остром периоде церебрального инсульта // Журнал неврологии и психиатрии имени С.С. Корсакова. – 2010. – Т. 110, № 4. – С. 25–30.
14. Awad L.N., Reisman D.S., Pohl R.T., Binder-Macleod S.A. Identifying candidates for targeted gait rehabilitation after stroke: better prediction through biomechanics-informed characterization // Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. – 2016. – Vol. 13. – P. 84. DOI:10.1186/s12984-016-0188-8
15. Boudarham J., Roche N., Pradon D., Bonnyaud C., Bensmail D., Zory R. Variations in kinematics during clinical gait analysis in stroke patients // PLoS One. – 2013. – Vol. 8, № 6. – P. e66421.
16. Nadeau S., Betschart M., Bethoux F. Gait analysis for poststroke rehabilitation: the relevance of biomechanical analysis and the impact of gait speed // Physical Medicine & Rehabilitation Clinics of North America. – 2013. – Vol. 24, № 2. – P. 265–276. DOI: 10.1016/j.pmr.2012.11.007
17. Osada Y., Yamamoto S., Fuchi M., Ibayashi S. Sit-to-walk task in hemiplegic stroke patients: relationship between movement fluidity and the motor strategy in initial contact // Journal of the Japanese Physical Therapy Association. – 2015. – Vol. 18, № 1. – P. 7–14. DOI: 10.1298/jjpta.Vol18_002

ESTIMATION OF BIOMECHANICAL FEATURES OF WALK OF PATIENTS IN THE LATE RECOVERY PERIOD OF A STROKE USING WALK ANALYSIS SYSTEM

V.A. BRONNIKOV (PERM, RUSSIA), V.B. SMYCHYOK (MINSK, BELARUS),
K.A. SKLYANAYA, Y.I. NYASHIN, V.N. NIKITIN (PERM, RUSSIA)

After stroke, the main cause of disability of patients is the gait violation. Monitoring the state of gait in the post-stroke patient in the process of rehabilitation is an urgent task to solve the problem of recovery of motor activity and mobility of patients. The paper presents the results of a survey of 50 people: 34 patients in the late recovery period of stroke and 16 healthy volunteers. An assessment was made of the biomechanical characteristics of walking along the horizontal surface in patients in the late recovery period of a stroke. It was found that the application of the motion analysis technique allows determining biomechanical features that reflect pathological variants of the organization of motion, which can be a prognostic factor in restoring motor skills or developing compensatory mechanisms. It is assumed that this technique allows us to build a model of motion disturbance and assess the impact of clinical improvements on biomechanical processes.

Key words: walking biomechanics, patients' disability, recovery after stroke, compensatory mechanisms.

Получено 24 сентября 2017