

КЛИНИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПОХОДКИ

А.П. Ефимов

*Российская академия медико-социальной реабилитации,
ректор – д.м.н. профессор Ф.А. Юнусов
Москва*

*Межрегиональный центр восстановительной медицины и реабилитации,
директор – член-корр. РАЕН, д.м.н. профессор А.П. Ефимов
г. Нижний Новгород*

Проведены исследования биомеханических параметров походки при плоскостопии, деформирующих артрозах и последствиях переломов нижних конечностей методом акселерографии. Группу исследования составили 2988 человек. Метод применим для изучения толчковой функции нижних конечностей – резкости. Результаты оформлены в виде таблицы толчковых ускорений, регистрируемых в различных участках тела в норме и при плоскостопии. Представлены акселерограммы походки в норме и при последствиях переломов и ДОО. Проведен анализ результатов. Выделены следующие наиболее информативные параметры походки: угловая скорость для суставов (град /сек); ускорение угловое и линейное – для мышц (м /сек²); резкость – для костей (м/сек³).

Кроме того, в выводах отражены амортизационные функции рессорного свода стопы и мышц ног и позвоночника, при патологии, направленные на снижение толчковых нагрузок на голову и головной мозг, что особенно заметно при выраженном плоскостопии. При этом биомеханика движений головы интегративно отражает всю совокупность компенсаторных и адаптивных явлений в ОДС при патологии и является информативным показателем симметричности локомоции. Характер локомоций оказывает значительное влияние на биомеханику головы и головного мозга в норме и при патологии.

Ключевые слова: походка, биомеханические параметры, акселерография.

CLINICALLY SIGNIFICANT PARAMETERS OF GAIT

A.P. Yefimov

Researches of biomechanical parameters of gait are carried out at flatfoot, arthritis deformans and consequences of fractures of the lower extremities by an accelerography (study group consisted of 2988 persons). The method is applicable for studying push functions of the lower extremities – sharpness. Results are issued in the form of the table push the accelerations registered in various sites of a body in norm and at flatfoot. The gait accelerograms are presented in norm and at consequences of fractures and arthritis deformans. The analysis of results is carried out. The most informative biomechanics parameters of gait are allocated: angular speed for joints (hailstones/sek); acceleration angular and linear - for muscles (m/sek2); sharpness - for bones (m/sek3). Besides in conclusions amortization functions of the spring arch of foot and muscles of feet and a backbone are reflected, at a pathology directed on decrease push loadings on a head and a brain that is especially appreciable at expressed flatfoot. Thus the biomechanics of movements of a head integrity reflects all set compensative and the adaptive phenomena in locomotors system at a pathology and is an informative indicator of locomotion symmetry. Locomotion character makes considerable impact on head and brain biomechanics in norm and at a pathology.

Key words: gait, biomechanical parameters, accelerography.

Ходьба является высокоавтоматизированным системным процессом, в ходе которого происходит многопараметрическое взаимодействие большого числа элементов опорно-двигательной системы (ОДС) и нервных центров. Несмотря на сложность процесса, двигательное управление ходьбой человека в норме происходит по четким стандартам, и стереотип походки отличается высокой отрегулированностью временных, пространственных, кинематических, динамических и регуляторных параметров. При патологии этот стереотип нарушается и весьма

быстро возникает новый, патологический тип походки, изучая особенности которого можно диагностировать и этиологию, и патогенез заболевания, а также успешно производить функциональную диагностику индивидуальных и клинических вариантов походки.

Информативная весомость биомеханических параметров походки давно привлекает внимание ученых. Тем не менее, до сих пор не определены функциональные инвариантные параметры, которыми пользуется центральный аппарат двигательной системы. Определение

их имеет большой утилитарный смысл, давая практикам короткий путь к главным информативным параметрам оценки походки и избавляя от обилия малоценной второстепенной информации. Иными словами, практических врачей (а также спортивных тренеров, инструкторов ЛФК и др.) до сих пор интересует обнаружение высокоинформативных медико-биологических параметров биомеханики походки.

В течение многих лет нами проводятся исследования детей и взрослых биомеханическими методами: ихнография, электроподография, электрогониография натуральная и дифференцированная, акселерография, динамография походки в норме и при заболеваниях и травмах нижних конечностей, плантография при плоскостопии [1].

В таблице 1 приведены четыре группы наблюдавшихся здоровых и больных пациентов, перечень исследуемой патологии и количество случаев, послуживших для анализа и представления в данной статье.

Метод акселерографии (рис. 1) признан одним из наиболее информативных в исследовании походки и функционального состояния ОДС в целом (а.с. 1251855 СССР от 23.08.86). В отличие от традиционных методов изучения двигательной активности человека, метод основан не на исследовании параметров самого движения, а на анализе вибрационных ускорений, сопровождающих локомоционные акты,

т.е. сравнительно низкоамплитудных и высокочастотных компонентов движения, не находящихся под прямым контролем сознания. Вибрационные ускорения регистрируются как при выполнении естественных движений, так и специальных двигательных тестов. При этом исследуется асимметрия вибраций, вызываемых движениями правых и левых конечностей.

Для оценки управляющих и исполнительных элементов ОДС исследуются спектральные характеристики получаемых вибрационных сигналов, сопровождающих локомоционные акты [2]. В качестве первичных преобразователей механических колебаний тела используются датчики-пьезоакселерометры (ПАМТ), которые размещаются непосредственно на теле человека и не ограничивают его двигательной активности (рис. 2). В качестве регистраторов использованы устройства общетехнического назначения (серийные анализаторы спектра СК4 72/2).

В сочетании со специальными клиническими приемами метод стал основой создания принципиально новых методик обследования пациентов при патологии ОДС, способа биомеханической диагностики функционального состояния ОДС и т.д. (патент РФ № 58022 от 03.08.2005).

Метод применим для изучения толчковой функции нижних конечностей, т.е. регистрации резкости – физической величины, представля-

Таблица 1

Распределение пациентов по нозологическим группам и методам исследования

Группа наблюдения	Кол-во	Методы биомеханического исследования походки						
		Ихно-графия	Электроподография	Электрогониография	Акселерография	Динамография	Плантография	
Здоровые	300	300	300	300	300	300	–	
Больные с последствиями переломов	стопы	170	170	170	148	170	88	–
	голеностопного сустава	344	344	344	302	344	211	–
	большеберцовой кости	86	86	86	71	86	45	–
	бедра	45	45	45	39	45	30	–
	таза	23	23	23	20	23	15	–
Больные с деформирующим артрозом (ДОА)	тазобедренного сустава	176	176	176	156	176	87	–
	коленного сустава	256	256	256	206	256	159	–
	голеностопного сустава	128	128	128	111	128	89	–
Плоскостопие (дети и взрослые)	1460	1460	1460	1150	1460	1011	980	
Всего	2988	2988	2988	2503	2988	2035	980	

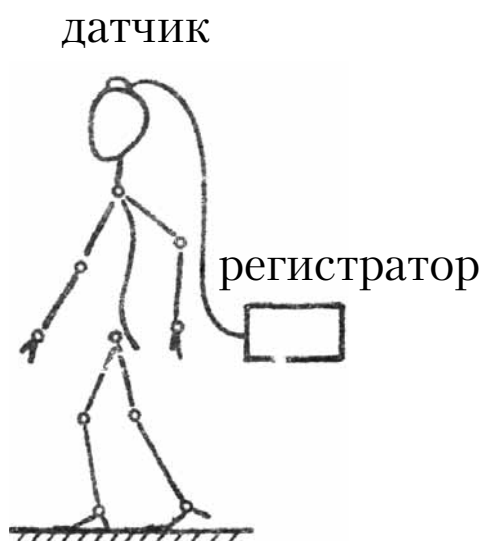


Рис. 1. Акселерография походки

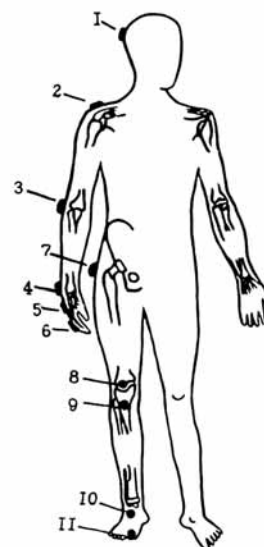


Рис. 2. Точки локализации датчика на теле человека для исследования ОДС

ющей скорость изменения ускорения, измеряемой в м/сек³. Датчик укрепляют на участке с поверхностным залеганием кости, вследствие чего информация о толчке сохраняется и не оказывает существенного влияния на формирование сигнала ускорения. Оценка толчковой функции по резкости более точна, чем по ускорению. Для осуществления способа датчик укрепляют в необходимой для изучения точке, подключают к регистратору. Пациенту предлагается пройти 8–10 м присущей ему походкой. Во время ходьбы производят регистрацию электрических сигналов, получаемых с выхода датчика, и обозначают их принадлежность толчкам правой и левой ног. Записывают калибровочный сигнал (1 мВ). Полученная графическая запись – пре-

стограмма – состоит из отдельных пиков, соответствующих толчкам правой и левой ног. При расположении датчика на темени регистрируются передние толчки ног, а при расположении на звеньях ног – как передний, так и задний толчки.

Полученные в данной работе результаты позволяют извлечь новые выводы из проведенных ранее исследований, защищенных авторскими свидетельствами. Например, данные наблюдения за пациентами с плоскостопием, полученные при комплексном клиническом и инструментальном обследовании, представлены в таблице 2.

В свое время фундаментальность ряда обнаруженных фактов не была осознана с позиций

Таблица 2

Толчковые ускорения в сегментах тела в норме и при плоскостопии

Сегменты тела	Норма, g M ± L	Плоскостопие		
		I ст. M ± L	II ст. M ± L	III ст. M ± L
Голова	1 ± 0,5	2 ± 1	3 ± 1,5	4 ± 2
ШОП	2 ± 0,5	3 ± 1	4 ± 1,5	6 ± 2
ГОП	3 ± 0,5	4 ± 1	5,5 ± 1,5	7,5 ± 2
ПОП	4 ± 0,5	5,5 ± 1	7 ± 1,5	9 ± 2
Таз	5 ± 0,5	7 ± 1	9 ± 1,5	11 ± 2
Бедро	6 ± 0,5	8 ± 1	10 ± 1,5	12 ± 2
Голень	7 ± 0,5	9 ± 1	11 ± 1,5	13 ± 2
Амортизация	- 12	- 9	- 6	- 3
Стопа	18 ± 1,5	16 ± 1	14 ± 2	12 ± 3

Примечание: ШОП – шейный отдел позвоночника, ГОП – грудной отдел позвоночника, ПОП – поясничный отдел позвоночника.

Статистическая обработка проведена методом доверительных интервалов с использованием таблиц Стрелкова. L – доверительный интервал по таблицам Стрелкова [3].

их значимости для двигательного управления нижними конечностями и для принятия их в качестве предикторов патологии опорно-двигательной системы.

Как показывают данные таблицы 2, при плоскостопии происходят фундаментальные явления:

1. Адаптивно снижается толчковая сила ног во время ходьбы.
2. По мере развития плоскостопия снижается рессорная функция стопы. Разница ускорения стопы и голени снижается от (18–6) 12 g до 8–6–4 g соответственно.
3. Пропорционально уменьшается амортизирующая роль стоп.
4. Постепенно увеличивается толчковая нагрузка на голову с 0,5–1 до 2–3 g.
5. Толчковая нагрузка на головной мозг (ГМ) нарастает, что сопровождается повышением внутричерепного давления (ВЧД), ухудшением метаболизма ГМ, снижением кровоснабжения ГМ, головной болью, у детей – задержкой развития психических функций, моторного, речевого, интеллектуального развития.
6. Адаптивная перестройка мышечной амортизации аппарата ног и позвоночника недостаточна для эффективной защиты головного мозга (ГМ).

При деформирующих заболеваниях суставов нижних конечностей закономерно снижаются величина и характер акселерограммы стопы, прежде всего пораженной нижней конечности. Здоровая или незначительно пораженная вторая конечность также всегда имеет уменьшенные величины толчкового ускорения. Это наблюдение свидетельствует о формировании при деформирующих заболеваниях щадящей походки, защищающей суставы, пораженные хронической воспалительной болью (рис. 3).

При исследованиях больных с переломами нижней конечности в начале периода реабилита-

ции толчковые движения больной и здоровой ног резко отличаются. При этом величина толчков поврежденной нижней конечности резко уменьшается, а здоровой – увеличивается, становясь намного больше нормы – до 1,5–2 раз (рис. 4).

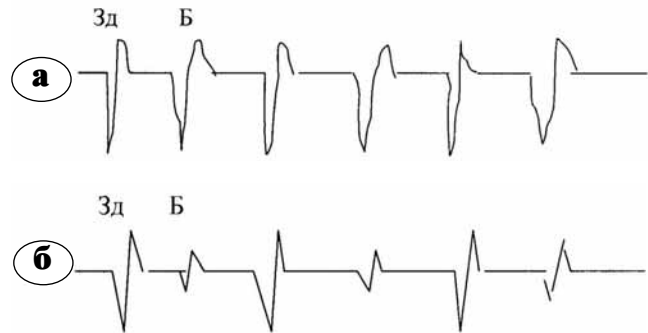


Рис. 4. Акселерограмма при переломах (больной и здоровой) нижних конечностей: а – в начале лечения, б – в стадии завершения реабилитации

Компенсаторное двигательное увеличение толчков (переднего и заднего) здоровой нижней конечности ведет к ее перегрузкам, вызывает боли, в последующем – явления деформирующего артроза. Компенсаторные асимметрии всей ходьбы вызывают нарушения в проксимальных суставах конечности и позвоночнике, даже в руках.

Акселерография головы при ходьбе людей после переломов ног является весьма информативной. Она показывает две особенности:

- высокую информативность для интегральной оценки походки;
- асимметрию движений ОДС всего тела с учетом всех компенсаторных явлений создающих признаки хромоты (рис. 5).

Акселерограмма головы отличается тем, что на кривой имеется только ускорение переднего толчка обеих конечностей в норме. Зубцы акселерограммы одинаковые, симметричные (А). При хромоте на больной конечности зубцы акселерограммы в несколько раз меньше, чем на акселерограмме здоровой конечности. По мере восстановления хромота исчезает, высота зубцов акселерограммы головы выравнивается. Но зубцы акселерограммы больной конечности имеют менее крутой подъем, скорость нарастания акселерограммы ниже, чем здоровой нижней конечности. Для более строгого и четкого выявления такой асимметрии мы начали регистрировать – производную ускорения показателя в мм/сек³ – показатель, названный «резкостью» и по аналогии с техническим применением этого параметра регистрацию резкости назвали престографией. На рисунке 6

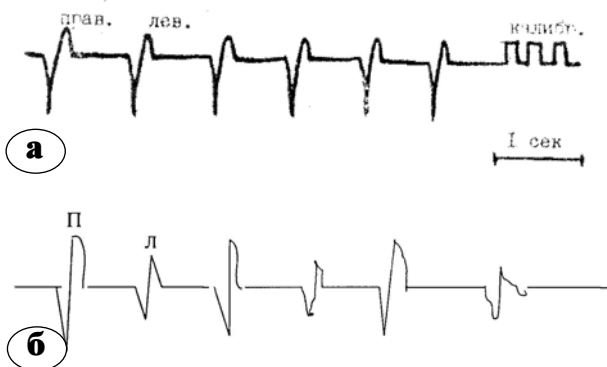


Рис. 3. Акселерограмма головы: а – в норме; б – при деформирующем гонартрозе (снижение толчкового ускорения в левой нижней конечности)

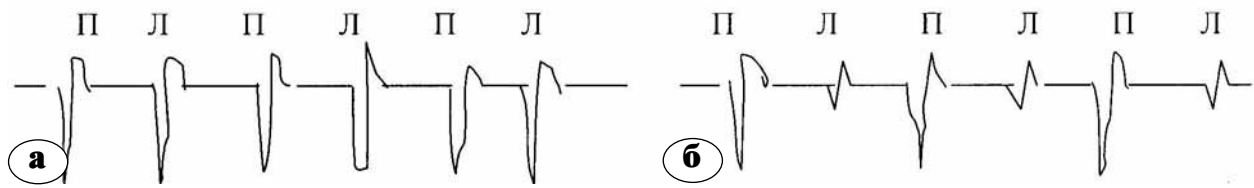


Рис. 5. Акселерограмма головы при ходьбе в норме и при патологии: а – норма; б – хромота

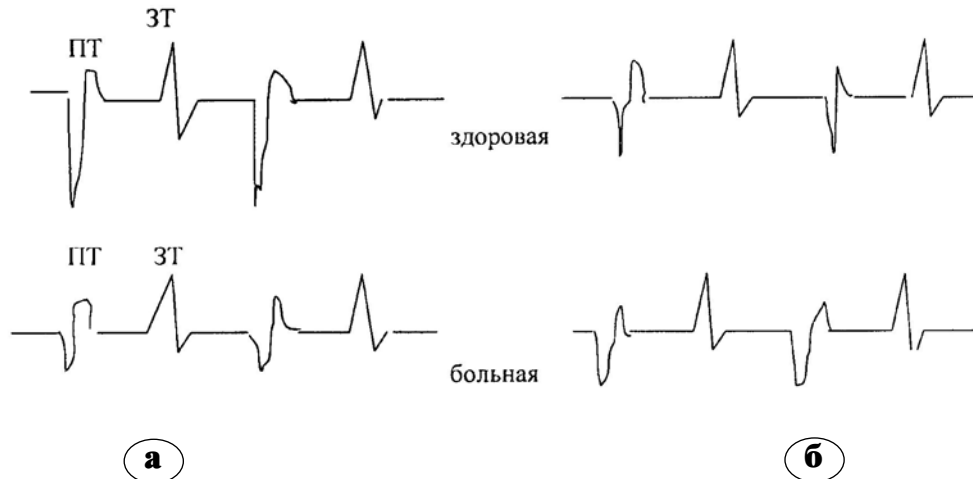


Рис. 6. Акселерограмма при переломах (больной и здоровой) нижних конечностей: а – в начале лечения, б – в стадии завершения реабилитации

Б приведена престограмма ходьбы больных с переломами нижней конечности на этапе восстановления. Как видно, симметрия величин ускорения зубцов на акселерограмме не сопровождается соответствующей симметрией толчков престограммы. Данный феномен назван «скрытой хромотой».

Наличие скрытой хромоты характеризует неполноту восстановления прочности костной мозоли, а показатель резкости (м/сек^3) является наиболее информативным показателем биомеханического состояния кости как живой системы, пользующейся более быстрыми производными динамических сигналов своего адаптивного управления. Этот показатель впервые обнаружен нами и введен в медицинскую практику.

Изучение ходьбы больных с деформирующими заболеваниями суставов нижних конечностей показало, что наиболее информативными параметрами для суставов являются показатели электрогониографические. Среди них наиболее

информативным является показатель угловой скорости (град/сек). Яркой иллюстрацией этого являются гониограммы коленного сустава при ходьбе (рис. 7).

На гониограмме коленного сустава имеются две волны: 1 – амортизационный подгиб, 2 – перенос свободной нижней конечности. При деформирующем артрозе значительно меняется амортизационный подгиб: резко ускоряется I фаза – сгибание, замедлена II фаза – разгибание. В соответствии с этим угловая скорость сгибания возрастает в 2–3 раза, а угловая скорость – разгибание – в 2–3 раза замедляется. Их взаимоотношение, равное в норме 1,5–2,0, увеличивается до 4–6 и 8 ед. Данный коэффициент соотношений принят нами как диагностический критерий ранней диагностики деформирующего артроза коленного сустава (а.с. 1191064 СССР от 15.07.1985). Показатель проявил очень высокую информативность и надежность в ходе реабилитации подобных пациентов.



Рис. 7. Гониограммы коленного сустава: а – в норме; б – при патологии (деформирующий артроз)

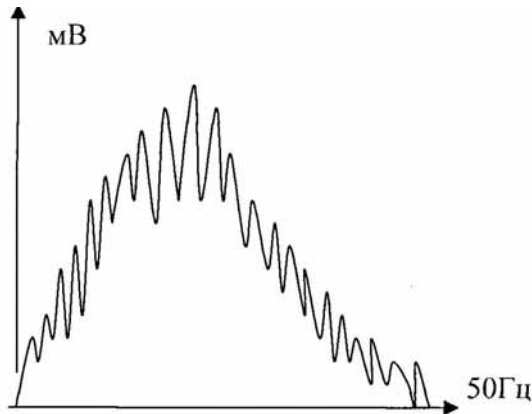


Рис. 8. АЧС престограммы

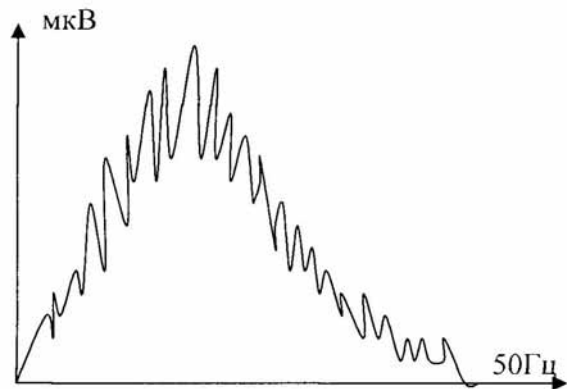


Рис. 9. АЧС электроэнцефалограммы

Аналогичные соотношения скорости амортизационного сгибания и разгибания прослежены также для тазобедренного и голеностопного суставов.

Весьма любопытной является амплитудно-частотная спектрограмма (АЧС) престограммы головы при ходьбе (рис. 8). Она полностью схожа с амплитудно-частотной спектрограммой электроэнцефалограммы моторных зон коры головного мозга (рис. 9).

В настоящее время аналогия эта изучается нами в процессе исследования биомеханики головного мозга.

Выводы

1. Наиболее информативными органоспецифическими биомеханическими параметрами у больных с заболеваниями и последствиями переломов нижней конечности являются: угловая скорость для суставов (град /сек); для мышц – угловое и линейное ускорение (м/сек^2); для костей – резкость (м/сек^3).

2. Рессорный свод стопы и амортизационная

роль мышц ног и позвоночника при патологии направлены на снижение толчковых нагрузок на голову и головной мозг, что особенно заметно при выраженном плоскостопии.

3. Биомеханика движений головы интегративно отражает всю совокупность компенсаторных и адаптивных явлений в опорно-двигательной системе при патологии, является информативным показателем симметричности локомоции.

4. Характер локомоций в норме и при патологии оказывает значительное влияние на биомеханику головы и головного мозга.

Литература

1. Ефимов, А.П. Семейная реабилитация взрослых больных и инвалидов / А.П. Ефимов. – Н. Новгород : изд-во НГМА, 2006. – 180 с.
2. Ефимов, А.П. Реабилитационная биомеханика переломов верхней конечности / А.П. Ефимов. – Н. Новгород : изд-во НГМА, 2010. – 348 с.
3. Стрелков, Р.Б. Экспресс-метод статистической обработки экспериментальных и клинических данных / Р.Б. Стрелков – М. : МОЛГМИ, 1986.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Ефимов Анатолий Петрович – д.м.н. профессор член-кор. РАЕН, генеральный директор АНО «Межрегионального центра восстановительной медицины и реабилитации»
E-mail.: antef@nm.ru.