



**Богданов Евгений Владимирович**, Аспирант,  
ФГБОУ ВО Московский государственный  
технический университет им. Н.Э.Баумана

**АКСЕЛЕРОМЕТРЫ В РЕАБИЛИТАЦИОННОЙ МЕДИЦИНЕ  
ДЛЯ ДЕТЕЙ И ВЗРОСЛЫХ  
ACCELEROMETER IN REHABILITATION MEDICINE  
FOR CHILDREN AND ADULTS**

**Аннотация:** Последние технологические разработки привели к производству недорогих миниатюрных датчиков акселерометра с потенциалом для использования в клинических условиях. Эти датчики могут предоставить достоверную информацию о подвижности и объективном измерении походки. В настоящее время они используются главным образом в исследовательской среде; однако, благодаря последним достижениям, включение в клиническую практику возможно.

**Abstract:** Recent technological developments have led to the production of inexpensive miniature accelerometer sensors with the potential for clinical use. These sensors can provide reliable information on mobility and objective gait measurement. Currently, they are mainly used in research environments; however, due to recent advances, inclusion in clinical practice is possible.

**Ключевые слова:** акселерометр, реабилитация, походка, подвижность, падения, дети, пожилые.

**Keywords:** accelerometer, rehabilitation, gait, mobility, falls, children, elderly.



Использование акселерометров для оценки движения человеческого тела было впервые предложено в 1950-х годах [1, 2]. Акселерометры обеспечивают количественные показатели походки; они способны выявлять специфические изменения походки у детей и у людей и могут быть использованы для объективной количественной оценки уровней амбулаторной активности. Акселерометры имеют много потенциальных применений в мониторинге пациентов в реабилитации. Они обеспечивают дополнительное объективное и количественное измерение анализа походки в сочетании с клинической оценкой. Они имеют потенциал в будущем для стратификации риска падений, способствуя раннему началу соответствующего терапевтического вмешательства, тем самым уменьшая дальнейшие падения. Задача, стоящая перед клиницистами и биомедицинскими инженерами, заключается в дальнейшем использовании этой технологии, что делает ее частью повседневной клинической практики. Однако эти устройства были дорогими, громоздкими и ненадежными, следовательно, непригодными для методов амбулаторного мониторинга. Тем не менее, в последнее десятилетие произошла революция в производстве акселерометров, в первую очередь обусловленных автомобильной промышленностью для использования в системах выпуска подушек безопасности. Это новое поколение акселерометров было разработано для удовлетворения чрезвычайно строгих требований к качеству и надежности этой отрасли, а также для удовлетворения спроса на объемное и недорогое производство. Как следствие, акселерометры теперь доступны как миниатюрные, недорогие (\$5,80), [3]. маломощные устройства, обеспечивающие возможность количественного, портативного измерения изменений равновесия и походки у детей в сочетании с современными амбулаторными регистраторами (рисунок 1).

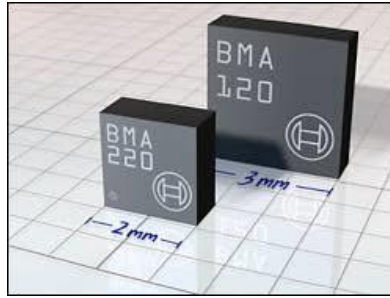


Рис.1 Акселерометры. Физические размеры устройства.

Акселерометры измеряют как статическое (например, гравитация), так и динамическое (например, вибрация) ускорение. Они состоят из подвижного стержня, подвешенного на микрообработанных пружинах, который обеспечивает сопротивление ускорению. Отклонение этого стержня затем преобразуется в показания ускорения. Три акселерометра могут быть объединены в одно устройство, предоставляющее информацию о трехмерном движении (трехосевой акселерометр). Чтобы проиллюстрировать потенциал этих устройств, в этом документе рассматриваются некоторые современные применения акселерометров для оценки походки и баланса, оценки риска падения и мониторинга мобильности. В нем обсуждаются некоторые недостатки существующих исследований и подчеркивается потенциал для включения приборов на основе акселерометра в реабилитационные условия.

### **Анализ походки и оценка баланса с помощью акселерометров**

Падения являются одним из источников заболеваемости и смертности у детей; последствия включают значительные травмы, переломы, госпитализацию и даже смерть [4]. Страх рецидива может привести к потере уверенности, ограничивая домашнюю и социальную деятельность, приводя к изоляции и одиночеству [5].

Причина падения многофакторна, однако нарушения походки и равновесия часто являются фундаментальными [6]. Выявление этих аномалий походки имеет важное значение для раннего начала соответствующего



терапевтического вмешательства в рамках стратегии профилактики падений. Акселерометры могут быть использованы для измерения этих изменений походки [7–9].

Всесторонняя и точная оценка походки включает в себя квалифицированную клиническую оценку, включая историю болезни и обследование. Тем не менее, нарушения в походке и равновесии иногда довольно тонкие и подвержены индивидуальной интерпретации. Исследования показали, что клиническое наблюдение за походкой может быть субъективным, качественным и иногда непоследовательным, особенно когда наблюдатели не очень опытные [10–13]. Поэтому простые, количественные методы оценки походки и равновесия у детей желательны для предоставления дополнительной объективной информации.

### **Анализ движения**

Акселерометры являются идеальным выбором для оценки изменчивости движения и баланса, обеспечивающий неинвазивный метод измерения. Они также могут точно определить простые параметры походки, такие как время шага, симметрия шага и скорость [7]. Ускорения, испытываемые туловищем во время ходьбы, отражают циклическое движение туловища, когда он замедляется и ускоряется, поднимается и опускается, и движется из стороны в сторону. Повторяющиеся паттерны, полученные с помощью мер ускорения, содержат информацию о плавности или изменчивости рисунка ходьбы (индекс гладкости).

Влияние старения на походку нормальных испытуемых (возраст 20–98 лет) оценивалось с помощью канальных акселерометров [7]. У нормальных пожилых людей испытуемых скорость ходьбы была медленнее по сравнению с более молодыми субъектами, с уменьшением длины шага и, как следствие, уменьшением движения туловища. Это будет указывать на более осторожную походку, которая может быть адаптацией для снижения риска падения.



Акселерометры головы и туловища использовались для оценки ускорений во время цикла походки, и более низкая величина ускорения была обнаружена при отталкивании у детей [8].

Эти устройства также использовались для изучения влияния старения на движения головы и туловища при ходьбе по ровным и неровным поверхностям [9]. Было обнаружено, что пожилые испытуемые демонстрируют более консервативный рисунок походки при сравнении с более молодыми субъектами, что было наиболее заметно при ходьбе по неровной поверхности. Он характеризовался уменьшенной скоростью и меньшей длиной шага.

Эти модификации рисунка походки показывают, как старение влияет на поструральные реакции на сложные условия и могут быть корректировкой для улучшения стабильности головы и туловища.

### **Оценка баланса**

Оценка баланса с использованием акселерометров сравнивалась с комплексными оценками клинического баланса у здоровых детей и идиопатических падений. Для сравнения были проведены различные клинические тесты баланса (варианты тестов Ромберга, ходьба по прямой линии пятки-носка и функциональный тест на вылет) и количественные тесты на координацию движений (экспресс-тесты степпинга и переходы пятки-носка). Данные об амплитуде ускорения были получены при стоянии на полу или соответствующей пене с открытыми глазами и закрытыми глазами. Была обнаружена существенная разница между падающими и не падающими группами для значений ускорения [11]. Тем не менее, единственным результатом теста клинического баланса, чтобы различить две группы, был тест Ромберга с использованием правой ноги в одиночку с открытыми глазами. Тесты на координацию движений показали значительные различия между группами для быстрого шага, но не для перехода пятки на носок. Таким образом, только методы клинической оценки показывают недостатки в выявлении пациентов с высоким риском падения.



В отдельном исследовании походка детей с проблемами устойчивости и без них и молодых испытуемых была парирована с помощью канальных акселерометров. Испытуемые были классифицированы как имеющие проблемы со стабильностью, если у них была история падения или сообщалось, что они чувствовали себя неустойчивыми, когда стояли или двигались. В этом исследовании был рассчитан индекс гладкости и измерена амплитуда пикового ускорения. Было показано, что пожилые люди с проблемами устойчивости значительно отличаются от младших контрольных и детей без проблем со стабильностью (т.е. менее плавное движение туловища и более низкая амплитуда пикового ускорения).

Эти исследования показывают, что акселерометры полезны для оценки баланса и что они обнаруживают определенные аномалии в походке падающих. Тем не менее, до сих пор они не были перспективно исследованы для определения их эффективности в прогнозировании риска будущих падений.

### **Измерение движений от сидения до стоя с помощью акселерометров**

Способность легко и безопасно вставать и садиться является фундаментальной деятельностью повседневной жизни. Без этого пожилые люди ограничены своими стульями, зависящими от заботы других. При оценке мобильности клиницисты регулярно проводят наблюдательную оценку перехода «сесть-встать-сесть».

С помощью акселерометров можно провести анализ этого цикла движения. С использованием данных акселерометра предложена структура стандартизации и определения событий цикла движения «сесть-встать-сесть» у нормальных испытуемых в возрасте 3–78 лет. Он был разделен на две дискретные фазы: восходящую фазу и нисходящую фазу, и для каждой фазы было определено семь событий. Для этих событий были установлены нормальные ожидаемые валы [12].



Будущий анализ цикла движения «сесть-встать-сесть» должен выиграть от этого определения фаз и событий в цикле. Более глубокое понимание цикла может быть использовано для обеспечения дальнейшего понимания причин возникновения трудностей, разработки более подходящих стульев и разработки более эффективных программ терапевтического вмешательства.

Было показано, что аномалии этого цикла движения способны различать детей с высоким и низким риском падения (что определяется историей падения и показателями нарушения равновесия и походки Тинетти), поэтому анализ этого цикла движения также может иметь применение в оценке риска падения у детей.

### **Мониторинг активности с помощью акселерометров**

Мобильность часто является основной целью реабилитационной программы. Физические заболевания в пожилом возрасте регулярно связаны со снижением подвижности, что приводит к зависимости в повседневной жизни. Регулярная физическая активность тесно связана как с физическим, так и с психическим здоровьем и является основным детерминантом качества жизни. Повышенная подвижность улучшает выносливость и мышечную силу.

Мониторинг амбулаторной активности с помощью акселерометров является надежной методикой, обеспечивающей непрерывный, неконтролируемый, объективный, мониторинг подвижности.

Двух акселерометров, один на туловище, а другой на ноге, достаточно, чтобы различать сидя, стоя, лежа и движение. Точность мониторинга активности на основе акселерометра во время расширенных измерений у детей в реабилитационных условиях показала среднюю точность обнаружения активности 95%. Монитор активности с помощью четырех акселерометров (два на туловище и по одному на каждом бедре) может различать до 20 повседневных поз с высокой чувствительностью и специфичностью. К ним относятся различные формы сидения, стояния и лежания, а также общее



движение, ходьба, подъем и спуск по лестнице, езда на велосипеде и бег. Этот монитор был проверен на нормальных субъектах, людях с ампутированными конечностями, пациентах с неудачной операцией на спине, пациентах с застойной сердечной недостаточностью и в психофизиологических исследованиях. Вариационные исследования также проводились в домашних условиях.

Недавнее исследование показало, что одно устройство на туловище, включающее акселерометр и гироскоп, является способом точного обнаружения изменения осанки и ходьбы у детей. Ограничение датчиков одним участком тела приводит к еще более аккуратной системе мониторинга.

Эти амбулаторные меры имеют много потенциальных применений, включая объективную оценку мобильности в клинической или домашней среде в течение длительного периода времени («24-часовой монитор амбулаторной мобильности») [13]. Это может быть использовано в качестве инструмента первоначальной оценки или в качестве дополнения к мониторингу прогресса во время и после реабилитации.

В настоящее время ведутся исследования по оценке акселерометров как системы обнаружения падений. Водопады отличались от повседневной жизни со 100% точностью с помощью одного трехосевого акселерометра на стволе (неопубликованные данные). Эта система использует технологию службы коротких сообщений (SMS) мобильного телефона для передачи тревоги опекуну. Эти функции могут быть включены в амбулаторную систему мониторинга, обеспечивающую дополнительную безопасность системы сигнализации в случае падения.

Многие методы используются для оценки походки и подвижности в клинических условиях. Некоторые из них включают наблюдение, физические научные методы (ножные переключатели, коврики для походки, силовые пластины, анализ оптических движений), дневники и анкеты.





Методы наблюдения являются неотъемлемой частью анализа походки и равновесия и, как обсуждалось, акселерометры могут обеспечить полезное объективное дополнение. Многие из других методов имеют значительные недостатки для непрерывного анализа. Методы физической науки основаны на лабораторных условиях. Ноги - ведьмы (чувствительные к давлению устройства, помещенные в обувь) регистрируют параметры временной походки (например, время шага, скорость), но крайне ненадежны. Оптический анализ движения включает в себя видеозапись объектов, носящих светоотражающие датчики. Это дорогостоящая, непрактичная и трудоемкая процедура. Обосновано, что акселерометры имеют значительные преимущества по сравнению со многими из этих методов и могут распространять аналогичную информацию во многих случаях [13].

Миниатюрные акселерометры могут быть нанесены непосредственно на кожу и прикреплены кабелем к портативному рекордеру. Сложные записи хранятся на карте памяти в рекордере, а затем загружаются на ПК для анализа.

### **Заключение**

Последние технологические разработки привели к производству недорогих миниатюрных датчиков акселерометра с потенциалом для использования в клинических условиях. Эти датчики могут предоставить достоверную информацию о подвижности и объективном определении походки и равновесия. Акселерометры имеют значительные преимущества по сравнению с другими количественными методами, используемыми в настоящее время для анализа походки, которые часто являются непрактичными, ненадежными и дорогостоящими. Акселерометры в настоящее время используются в основном в исследовательских условиях, однако с последними достижениями возможно включение в клиническую практику.

В этой статье описываются некоторые современные применения акселерометров в анализе походки, оценке баланса, оценке риска падений и мониторинге мобильности. Акселерометры обеспечивают количественные



измерения походки, они способны идентифицировать специфические изменения походки у детей и у падших и могут использоваться для количественной оценки 24-часовых уровней амбулаторной активности.

Подробное клиническое обследование имеет основополагающее значение для анализа походки, к которому акселерометр обеспечивает идеальное условное дополнение. Они были широко исследованы при оценке баланса и были подтверждены по сравнению с комплексным клиническим тестированием баланса. Однако количественный показатель сбалансированности, отражающий степень нарушения равновесия, еще не разработан.

Акселерометры могут обнаруживать значительные различия в походке между падающими и не падающими, но перспективные исследования не были проведены для оценки способности акселерометров прогнозировать риск будущего падения. Многие из этих исследований в настоящее время проводятся с целью разработки автоматизированных систем для использования в клинических условиях.

Круглосуточный мониторинг амбулаторной мобильности обеспечивает надежную и объективную информацию, которая может быть использована в качестве инструмента первоначальной оценки или дополнения к оценке прогресса во время и после реабилитации. Он готов к внедрению в клиническую практику и уже используется в Нидерландах.

Предполагается, что число и тип применения этой технологии будут увеличиваться по мере признания ее потенциала. Например, он исследуется у пациентов с болезнью Паркинсона как объективная оценка подвижности и тремора для выявления изменений с модификациями в медикаментозном лечении. Акселерометры также были имплантированы в протезы тазобедренного сустава и, как было показано, обнаруживают ослабление. Миниатюрный характер акселерометров сделал возможным их включение в одежду путем интеграции датчиков в ткань, что облегчит соблюдение требований в долгосрочном мониторинге мобильности.



Как указано в этой статье, акселерометры в настоящее время используются в основном в исследовательских условиях, однако алгоритмы обработки и методы мониторинга были тщательно проверены. Следующим этапом в разработке приборов на основе акселерометра является включение этого исследовательского опыта в коммерческое устройство. Создание продукта, который прост в использовании и приемлем для клиницистов, будет основной целью дизайна. Другие проблемы включают в себя создание водонепроницаемости устройства и разработку датчиков, которые легко применять и повторно применять. Задача, стоящая перед клиницистами и индустрией медицинского оборудования, заключается в том, чтобы использовать эту технологию, делая ее практичной и приемлемой для включения в повседневную реабилитационную практику.

*Список литературы:*

1. Гейдж Х. Акселерографический анализ походки человека. Вашингтон, округ Колумбия: Американское общество инженеров-механиков, 1964.
2. Сондерс Дж., Инман В., Эберхарт Х. Основные детерминанты в нормальной и патологической походке. *J Bone Jnt Surg* 1953; 35A: 543–58.
3. Тинетти М., Спичли М., Гинтер С. Факторы риска падений среди пожилых людей, проживающие в сообществе. *Новый Eng J Med* 1988 год; 319: 1701–1707.
4. Аувине Б. и др. Справочные данные для обычных субъектов
5. получено с помощью акселерометрического прибора. *Походка Поз* 2002; 16: 124–34.
6. Кавана Дж.Дж., Барретт Р.С., Моррисон С. Ускорения верхней части тела во время ходьбы у здоровых молодых и пожилых людей мужчин. *Гэйт Поз* 2004; 20: 291–8.
7. Менц Х.Б., Лорд С.Р., Фитцпатрик Р.С. Ускорение рисунков головы и таза при ходьбе по ровным и нерегулярным лицам. *Походка Поз* 2003; 18: 35–46.



8. Бруннекриф Джей Джей, ван Уден Си Джей, Мурсел С, Кулос Дж.Г. Релиа- анализ видеозаписи наблюдательной походки у пациентов с ортопедическими нарушениями. ВМС Скелетно-мышечный дизорд 2005; 6: 17–25.
9. Истлак М и др. Межрейтерная надежность видеозаписей наблюдательных оценок анализа походки. Phys Ther 1991; 71: 465–72.
10. Менз Х., Лорд С., Фитзпатрик Р. Возрастные различия в стабильности ходьбы. Старение, 2003 год; 32: 137–42.
11. Зижлыеку В., Хоф А. Оценка параметров пространственно-временной походки по ускорениям туловища при ходьбе человека. Походка Пос 2003; 18: 1–10.
12. Чо С.Ю., Камен Ж. Обнаружение дефицита баланса у частых падений с использованием клинических и количественных инструментов оценки. J Am Geriatr Soc 1998; 46: 426–30.
13. Як ХЮ, Бергер РС. Динамическая стабильность у детей: определение возможной меры. Д. Геронтол 1993; 48: M225–M230.