

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2024.
УДК 617.585:681.5

БАЗОВЫЕ РАЗНОВИДНОСТИ УМНЫХ МЕДИЦИНСКИХ СТЕЛЕК

А.Е. Воробьев¹, А.А. Сидиков², К.А. Воробьев¹, С.Ю. Юлдашев²

¹ Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

² Ферганский институт общественного здоровья, Фергана, Узбекистан

BASIC VARIETIES OF SMART MEDICAL INSOLES

A.E. Vorobyov¹, A.A. Sidikov², K.A. Vorobyov¹, S.Yu. Yuldashev²

¹ Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation

² Fergana Medical Institute of Public Health, Fergana, Uzbekistan

Аннотация: Представлены базовые разработанные разновидности умных медицинских стелек. Даны основные определения умных медицинских стелек и базовые их возможности работы: измерение количества шагов, темпа шага, времени качания, значения скорости смещения центра давления (СОР) и т.д. Детализировано конструктивное строение и особенности умных медицинских стелек, которые включают в себя недорогую сенсорную стельку и прикладное программное обеспечение, работающие со смартфоном, а также компьютером (для длительного хранения и визуализации собранных данных). При этом, прикладное программное обеспечение позволяет создать визуализацию и обратную связь с пользователем в режиме реального времени. Данные, хранящиеся на карте или в облаке, используются для изучения состояния организма пользователя (пациента). Показаны существующие разновидности умных медицинских стелек: в виде специального обезболивающего устройства, для пациентов, болеющих диабетом или болезнью Паркинсона, для больных, рассеянных склерозом, предотвращающие падение пациентов, а также предназначенные для восстанавливающих пробежек и др.

Ключевые слова: стельки, искусственный интеллект, медицинское применение.

Annotation: The main developed varieties of smart medical insoles are presented. The basic definitions of smart medical insoles and their basic working capabilities are given: measuring the number of steps, the pace of the step, the swing time, the values of the displacement velocity of the center of pressure, etc. The structural structure and features of smart medical insoles are detailed, which include an inexpensive touch insole and application software that work with a smartphone, as well as a computer (for long-term storage and visualization of collected data). At the same time, the application software allows you to create visualization and feedback from the user in real time. The data stored on the map or in the "cloud" is used to study the state of the user's (patient's) body. The existing varieties of smart medical insoles are shown: in the form of a special analgesic device, for patients with diabetes or Parkinson's disease, for patients with multiple sclerosis, preventing patients from falling, as well as designed for restorative jogging, etc.

Keywords: insoles, artificial intelligence, medical application.

Для цитирования: А.Е. Воробьев, А.А. Сидиков, К.А. Воробьев, С.Ю. Юлдашев БАЗОВЫЕ РАЗНОВИДНОСТИ УМНЫХ МЕДИЦИНСКИХ СТЕЛЕК. INNOVATIVE SURGERY ON THE SILK ROAD. 2024. 1.

For citation: A.E. VOROBYOV, A.A. SIDIKOV, K.A. VOROBYOV, S.YU. YULDASHEV BASIC VARIETIES OF SMART MEDICAL INSOLES. INNOVATIVE SURGERY ON THE SILK ROAD. 2024. 1.

Введение. Носимые умные устройства, предназначенные для отслеживания характера и параметров тренировок пользователя (фитнеса), стали среди современных людей обыденными и зачастую практически повсеместными [1-3,15]. Но при этом необходимо четко осознавать, что чаще всего они, по своей технологической сути, являются лишь модными шагомерами.

Анализ походки пациента (пользователя гаджетом) в медицине уже стал весьма важным исследованием для его локомоции, служащей для распознавания нормальных или патологических моделей ходьбы, что позволяет довольно широко применять её результаты в медицинских программах, здравоохранении, реабилитации, физиотерапии и лечебных физических упражнениях.

Необходимо отметить, что в настоящее время, при исследовании с медицинскими целями походки пациент вынужден прикреплять к телу (одежде) и носить многочисленные светоотражающие маркеры и ходить по специальному, чувствительному к давлению, коврику, а довольно сложное и пока еще громоздкое оборудование фиксирует все его движения и уже из этой информации извлекают основные параметры его походки. При этом из-за обременительного оборудования и непривычной обстановки основная часть пациентов во время сбора данных зачастую чувствуют себя, как правило, дискомфортно. В результате в большинстве случаев они не могут ходить своим обычным стилем (походкой) [11]. Следовательно, извлеченные таким способом характеристики походки всегда могут быть предвзятыми и даже в некоторых случаях – абсолютно неверными.

Поэтому более целесообразно с этой целью использовать умные медицинские стельки для обуви, со встроенными в них специальными датчиками и другой электронной начинкой (рис. 1), которые способны извлечь и предоставлять достаточный объем достоверных данных о биомеханике пациента (либо просто – пользователя), чтобы снять необходимые данные, заполнить, а затем планомерно и объективно вести его медицинскую карту.

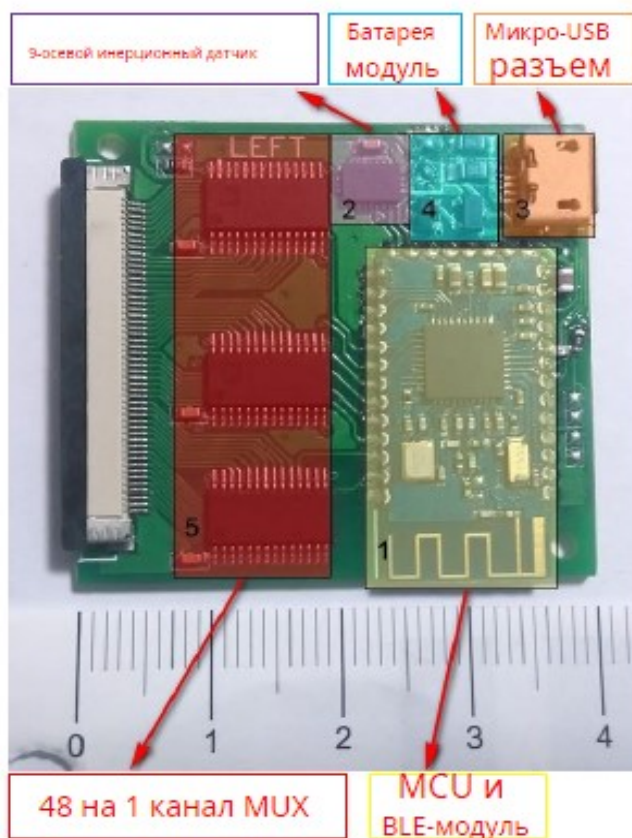


Рис. 1. Схема печатной платы умных стелек [11]

Это обусловлено тем, что новое поколение интеллектуальных (умных) медицинских стелек, хотя и не таких сложных (или не таких дорогих), как медицинские системы измерения в обуви, используемые в научных медицинских исследованиях, но всё же в состоянии достоверно измерять местоположение возникающей нагрузки, значения давлений на стопу, среднюю длину шагов пользователя и многие другие, также значимые, характеристики (причем – в режиме реального времени). Затем эти собранные многочисленные данные по беспроводной технологии передаются на мобильную вычислительную платформу (планшет, смартфон, умные часы и т.д.), что позволяет

пользователю взаимодействовать с собранной информацией о его физических нагрузках, через специальное программное обеспечение (рис. 2).

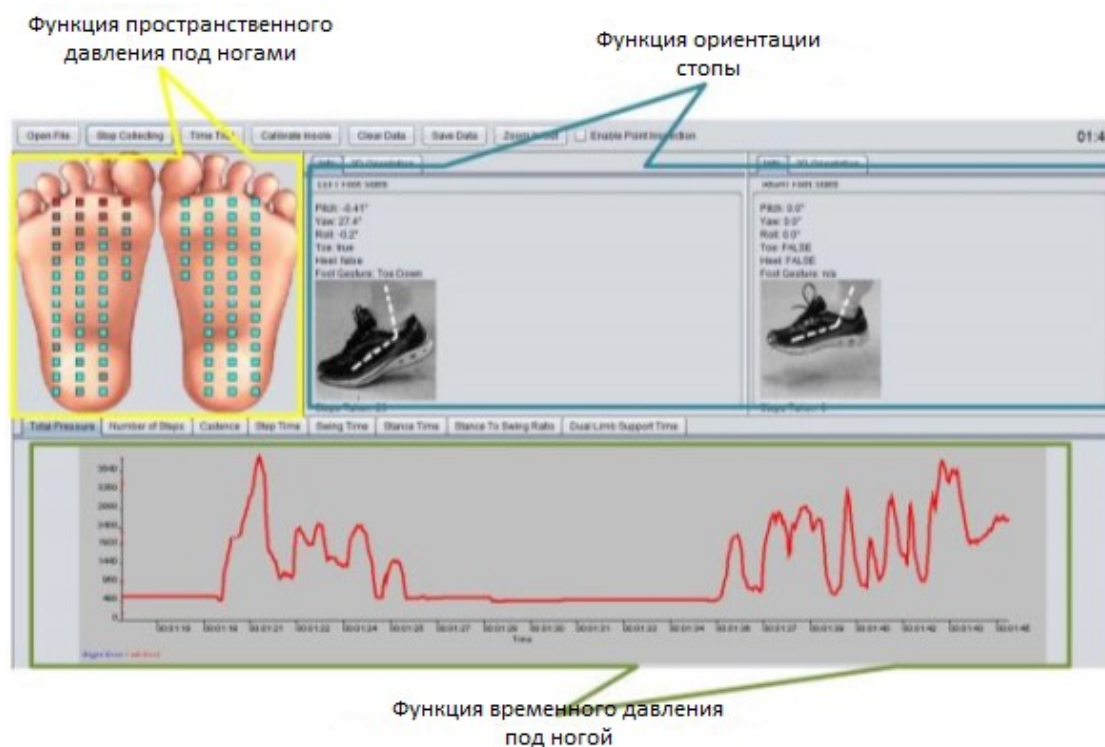


Рис. 2. Визуализация данных в компьютерной программе [11]

Определение и возможности. «Умные» медицинские стельки представляют собой принципиально новую инновационную технологию в мире здорового образа жизни, позволяющую пользователю целенаправленно контролировать колебания в весе своего тела (на основе количества осуществленных шагов), направлять физическую активность и исследовать другие необходимые важные характеристики и показатели. При этом умные медицинские стельки могут измерять количество шагов, темп шага, время качания, скорость смещения центра давления (СОР) и т.д.

Конструктивное строение умных медицинских стелек. Система Smart Insole (умная стелька), как правило, включает в себя недорогую сенсорную стельку и прикладное программное обеспечение, работающие со смартфоном, а также компьютером (для длительного хранения и визуализации собранных данных). Непосредственно стелька состоит из набора пьезофизических и других датчиков, микроконтроллера сверхмалого энергопотребления (MCU) и модуля беспроводной передачи данных Bluetooth, также с довольно низким энергопотреблением (BLE), мультиплексора каналов (MUX), библиотеки и микроуниверсальной последовательной шины (USB), а также соединительного модуля (рис. 3).

В этой архитектуре имеются 3 довольно важные подсистемы:

- Первая подсистема представляет собой недорогую матрицу различного рода датчиков (включающую 48 датчиков давления, 3-осевой акселерометр, 3-осевой гироскоп и 3-осевой магнитометр), обладающих определенными количественными параметрами.
- Вторая подсистема сбора и передачи необходимых данных включает микроконтроллер и модуль Bluetooth.
- Третья подсистема предназначена для визуализации и графического пользовательского интерфейса (GUI).

При этом, прикладное программное обеспечение позволяет создать визуализацию и обратную связь с пользователем в режиме реального времени. Данные, хранящиеся в карте Secure Digital (SD), используются для изучения состояния организма и поведения в отношении здоровья.

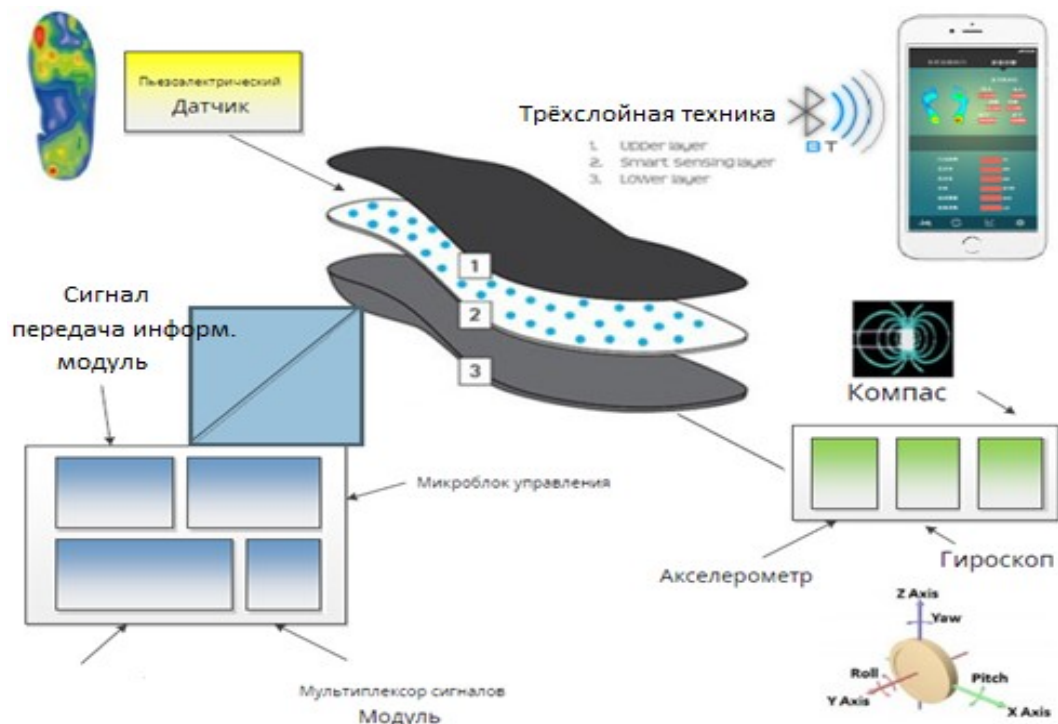


Рис. 3. Системная архитектура Smart Insole [11], включающая в себя множество датчиков и графический интерфейс пользователя

Так, массив датчиков давления текстиля используется для получения объективной карты распределения давления на стопы пользователя (пациента) с весьма высоким разрешением, которая основана на передовой технологии проводящего датчика ткани eTextile и может быть эффективно интегрирована в систему Smart Insole (умных стелек).

eTextile представляет собой ткань, покрытую особыми органическими полимерами, в которой изгиб, растяжение и длительное использование никак не влияют на хорошее качество сигнала датчика.

Матрица датчиков также покрыта пьезоэлектрическими полимерами, сопротивление которых между верхними и нижними поверхностями довольно существенно различается между собой. Когда к поверхности такого полимера прилагается дополнительная сила, то внутренние его волокна сжимаются и сопротивление становится значительно меньше. В результате уровень выходного напряжения будет высоким.

Разновидности умных медицинских стелек. К настоящему времени были разработаны умные медицинские стельки, издающие во время бега звуковые или визуальные подсказки, служащие для эффективного регулирования темпа тренировок, мощности ударов на голеностопы (неизбежно возникающие при пробежке), чтобы пользователь, с одной стороны, не отставал в тренировках от своей запланированной цели, а с другой – не нанес себе какой-либо физический ущерб.

Кроме того, интеллектуальные (умные) медицинские стельки с персонализированной обратной связью вполне способны помочь врачам поддерживать необходимый профессиональный контакт с пациентами (осуществляемый без дополнительных личных посещений) или ожидания возникновения чрезвычайной ситуации.

Например, умные медицинские стельки Surrosense Rx, изготовленные компанией Orpyx Medical Technologies (г. Калгари, Канада), представляют собой специальные вставки со встроенными датчиками, которые собирают данные о давлении на ноги пользователя, в последующем передаваемые по беспроводной сети на смарт-часы (поставляемые в комплекте со стельками). В результате умные часы предупреждают пользователя об обнаружении опасного уровня физического давления, чтобы он мог изменить своё поведение на тренировках (значение и скорость принятых нагрузок) и тем самым избежать каких-либо возможных повреждений.

Умная медицинская стелька в виде обезболивающего устройства RecoveryRx компании BioElectronics начинает свое распространение в Мексике. Клинически было доказано, что такое техническое устройство [14]:

- Безопасно уменьшает боль в пятках (включая подошвенный фасциит, травмы пяток, растяжения и деформации).
- Улучшает кровоток и уменьшает воспаление.
- Обеспечивает длительное облегчение.

Для этого умная медицинская стелька Smart Insole™ состоит из микромедицинских устройств Electro-Pulse, встроенных в области пяток в удобные гелевые вставки (рис. 4). Эти динамические гелевые вставки сочетают в себе электромагнитную импульсную терапию и комфорт пользователя.



Рис. 4. Терапевтическое микромедицинское устройство [14]

Стелька Smart Insole™ была разработана для устранения источника боли в пятках (рис. 5), обеспечивая длительное облегчение и ускоряя выздоровление организма пациента. Кровоток в организме пациента регулируется электрическими сигналами, которые передаются по нервам. Стелька Smart Insole™ целенаправленно изменяет эти нервные сигналы, обеспечивая облегчение боли за счет улучшения кровотока, что существенно уменьшает воспаление и восстанавливает поврежденные ткани до первоначального здорового состояния.

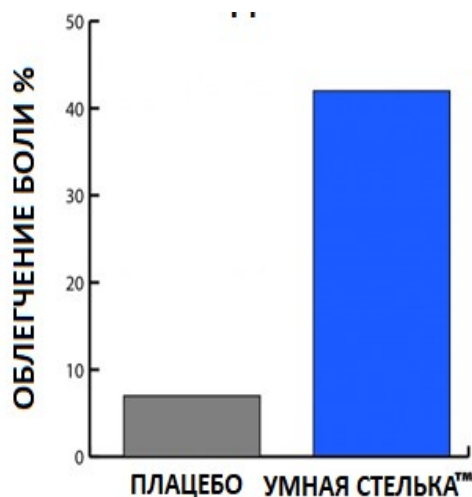


Рис. 5. Умная стелька уменьшает боль в пятках за 7 дней на 40 %

Целесообразно использовать стельку Smart Insole в течение длительного периода времени для максимального облегчения состояния пациента. Так, полное облегчение подошвенного фасциита может занять несколько недель, особенно если боль присутствовала ранее в течение длительного периода (часто определяемая как хроническая боль в пятке).

Срок службы стельки Smart Insole составляет до 720 часов терапии (360 часов на одно устройство).

Умные медицинские стельки для диабетиков. К настоящему времени были разработаны интеллектуальные (умные) обувные медицинские стельки для диабетиков,

которые могут обнаружить появление язв на ногах пользователя [4]. Так, компания Actics Medical создала «умные» индивидуальные медицинские стельки, которые могут отслеживать состояние стоп пациента, болеющего диабетом в режиме реального времени и предупреждать его о надвигающихся проблемах, выражающихся язвами.

Другим примером такого технического решения являются умные внутренние медицинские стельки Feetme, каждая из которых оснащена 80 датчиками давления, которые обеспечивают анализ походки пользователя в режиме реального времени через смартфон и могут оказаться весьма полезными для пациентов, болеющих диабетом, и служащие для контроля давления в стопах и потенциального предотвращения язв.

Почти половина людей, болеющих диабетом, из-за повреждения нервов, страдает потерей чувствительности в своих конечностях, известного как периферическая невропатия [10], в результате чего некоторые люди даже не подозревают, что у них имеется открытая рана на одной из ног (не говоря уже о том времени, когда она уже инфицирована и плохо, затрудненно заживает).

Такие кожные проявления известны как язвы диабетической стопы, и осуществленные медицинские исследования показали прямую связь между ними и повышенным риском смертности для пациента. Это делает раннюю диагностику такого болезненного состояния организма пациента весьма актуальной.

Поэтому израильский стартап создал «умные» индивидуальные медицинские стельки, которые могут отслеживать состояние ног пациента, болеющего диабетом, в режиме реального времени и предупреждать врача о возможности появления язвы, за несколько недель до её развития, основываясь только на той информации, как пациент ходит (на его походке).

Для этого умная стелька Hybrid+, разработанная Actics Medical (Израиль), оснащена встроенными датчиками, которые измеряют давление на стопы пользователя, значение температуры и характер движения стопы и представляют собранные данные в режиме реального времени в сопутствующее приложение на смартфоне.

Индивидуальные ортопедические стельки уже известны пациентам с диабетом, чтобы предотвращать травмы стоп и изъязвления, но это весьма длительный и многоэтапный процесс (включающий изготовление слепка стопы пациента). Кроме того, при использовании традиционных ортопедических стелек требуется довольно продолжительный период времени, чтобы к ним привыкнуть, и при этом пользователь не может отрегулировать их сразу (на месте), т.к. они являются пассивными и фиксированными. Но люди динамичны, т.к. постоянно изменяются их физические параметры, и разница между обычной стелькой и стелькой, которую можно регулировать на 1-2 мм, может стать тем триггером, что предотвращает появление новых изъязвлений.

Что отличает Hybrid+ от других аналогичных продуктов, так это то, что такие стельки только отслеживают развитие изъязвлений на ступнях, но и их можно целенаправленно регулировать и заменять, чтобы предотвратить возникновение новых язв.

Так, если датчики определяют, что на определенную часть стопы оказывается слишком сильное давление, то интеллектуальное приложение даст указание пациенту использовать специально разработанную отвертку, чтобы за 2-3 минуты изменить форму стельки – расширяя её или сжимая, чтобы изменить свою походку, и обеспечить перераспределение давления на стопу, чтобы предотвратить образование язв.

Умные медицинские стельки, предназначенные для больных рассеянным склерозом. Celestra Health разработала специальное техническое решение, предназначенное для управления лечением рассеянного склероза у пациента, в котором используются интеллектуальные (умные) медицинские стельки, также содержащие множество высокоточных датчиков, служащих для передачи весьма важных данных о движениях тела пациента в специальное приложение MS (в смартфоне). При использовании этого технического решения Celestra Health, для каждого пациента создается своя уникальная характеристика его походки. Это позволяет пациентам и врачам гораздо лучше справляться с таким пожизненным, довольно сложным, заболеванием организма пациента, связанным с координацией его движений (например, при рассеянном склерозе).

При этом необходимо учитывать, что в разное время в походке человека можно обнаружить даже совсем небольшие изменения в темпе ходьбы, равновесии, мышечной силе и усталости, связанной с расстоянием [12]. Технические решения Celestra Health

выявляют все возможные такие изменения (как отрицательные, так и положительные), происходящие при осуществлении мониторинга состояния пациента, и служащие для более лучшего информирования о протекании заболевания и процессе его лечения.

При этом возникает определенное удобство, обеспечиваемое мониторингом состояния организма пациента на дому, с контролем рассеянного склероза и других серьезных заболеваний, с привлечением специально разработанных уникальных когнитивных методик и методов оценок, действующих на основе специальных приложений, по поддержке координированности пациента с помощью интеллектуальных медицинских стелек, предназначенных для контроля жизненно важных изменений при ходьбе и обеспечения при этом необходимого равновесия.

Интеллектуальные (умные) медицинские стельки MS способны в течение длительного времени обнаруживать различные изменения в ходьбе и равновесии пользователя, что при рассеянном склерозе представляет собой критический маркер физического состояния его организма. При правильном мониторинге эти данные могут значительно ускорить и улучшить процесс принятия врачом тех или иных решений и, в свою очередь, положительно влиять на лечение, предлагаемое пациентам. Используя постоянно собираемую информацию, отправляемую датчиками в приложение «Рассеянный склероз», разработанная программа может выявить даже незначительные изменения, которые не могут быть обнаружены ни пациентом, ни врачом.

В случае появления признаков значительного прогрессирования заболевания врач автоматически уведомляется о таком изменении, что должно сразу же привести к изменению в методике лечения пациента.

В отличие от спортивных часов или фитнес-трекера, умные медицинские стельки Celestra Health представляют собой наиболее точную носимую технологию, предназначенную для постоянного мониторинга пациентов с рассеянным склерозом. Это обусловлено тем, что умные часы и другие подключенные устройства не всегда обеспечивают тот диапазон и глубину специализированного анализа походки, которые необходимы для точного отслеживания изменений организма пациента в состоянии его заболевания.

Подключив такие интеллектуальные (умные) медицинские стельки через разработанное для пациентов приложение и поделившись полученной информацией с врачом, можно довольно быстро и просто выявить все появившиеся детальные изменения в физическом состоянии организма пациента и соответствующим образом адаптировать или даже полностью изменить программу его лечения.

Умные медицинские стельки, предназначенные для больных болезнью Паркинсона. Предлагаемая архитектура следующего интеллектуального устройства содержит 3 основных компонента: интеллектуальные стельки, облачную платформу и мобильное приложение. Такая интеллектуальная система предназначена для пожилых людей и пациентов с болезнью Паркинсона, которые могут использовать интеллектуальные (умные) медицинские стельки в повседневной жизни вместе с соответствующим мобильным приложением для получения объективных информативных отчетов, связанных с походкой.

В соответствии с разработанной архитектурой умной медицинской стельки механизм обработки собираемых датчиками данных отвечает за сопоставление входящих необработанных данных с моделью данных Smart Insole и выполнение любой нормализации для соответствия спецификациям уровня анализа данных.

Умные медицинские стельки, предотвращающие падение пациентов. Цель следующего технического решения заключается в предотвращении неконтролируемых падений пользователей [13].

Актуальность такого подхода обусловлена, например, тем, что в Великобритании стоимость лечения результатов неконтролируемых падений людей, оцененная Национальной службой здравоохранения, составляет более, чем в 4 млрд. фунтов стерлингов в год (при этом большая часть расходов связана с возникшими, в результате падений, переломами бедра у пожилых людей). В США ежегодно тратится более 50 млрд. долл. на медицинские расходы, связанные с падениями людей, и эти расходы продолжают неуклонно увеличиваться каждый год.

Неожиданное и неконтролируемое падение человека обычно приводит к травмам, появлению болей, потере уверенности в себе и независимости, увеличению смертности. Более того, современные методы оценки риска падения людей весьма субъективны,

поскольку они обычно полагаются лишь на качественные наблюдения за походкой и равновесием, проводимые медицинскими работниками в условиях стационара.

В основе разработанного технического решения по предотвращению неконтролируемых падений людей находится целенаправленное использование умных медицинских стелек.

Такие интеллектуальные стельки предлагают тот же уровень комфорта, что и стельки, которые можно приобрести в обычном обувном магазине, но дополнительно они оснащены специальными датчиками, которые измеряют давление, оказываемое различными областями стопы пользователя, его ускорение и скорость вращения. Эти количественные измерения записываются со скоростью 100 измерений в 1 секунду, что позволяет интеллектуальной системе составить весьма высокоточную картину движений тела пользователя, чтобы предсказать и предотвратить возможные его падения.

Каждый раз, когда пользователь выходит на прогулку, то используемые при этом умные медицинские стельки собирают данные о его походке, а затем эти данные безопасно передаются в облако Celestra Health, где для получения информации о манере безопасной ходьбы пользователя изучают специально разработанные алгоритмы искусственного интеллекта.

В итоге эти специальные (индивидуальные для каждого пользователя) алгоритмы устанавливают некий базовый уровень, исходя из которого можно через изменения в походке обнаружить даже малейшие отклонения в его здоровье. В одних случаях походка пользователя может улучшиться благодаря целенаправленной физиотерапии и реабилитации, а в некоторых других случаях его походка может получить выраженные признаки определенного ухудшения.

Celestra Health может даже заранее обнаруживать такие события при ходьбе, как падение стопы и спотыкание, или идентифицировать определенные фенотипы ходьбы (например, у пациентов с рассеянным склерозом, из-за возникающего в мышцах ног напряжения, которое не позволяет им сохранять плавность хода, часто наблюдается, так называемая «спастичность»).

Умные медицинские стельки, предназначенные для пробежек. Следующее техническое устройство, получившее название Runvi, представляет собой сверхтонкие умные медицинские стельки для обуви, которые также работают в тандеме с приложением для смартфона или умных часов. Их разновидность – Nurvv Run, предназначена для предотвращения получения различных физических травм при пробежках и предоставления (в режиме реального времени) данных о правильной технике бега (благодаря предусмотренной звуковой и визуальной обратной связи).

Разработчики наделили их относительно небольшим искусственным интеллектом [5], который способен отслеживать успехи пользователя в ежедневных пробежках и обучать его более правильному способу бега.

Для этого каждая из стелек оснащена 32 точными датчиками давления, которые подходят для любой обуви, и двумя акселерометрами, служащими для сбора необходимой точной информации, на основе которой определяют правильно ли пользователь поднимает ноги во время бега, верно ли распределяет возникшую нагрузку между носком и пяткой, а затем все эти необходимые данные собираются и обрабатываются специальным приложением.

Для этого система Nurvv Run оснащена двумя стельками [6], каждая из которых имеет по 16 датчиков давления, расположенных по всей стопе, и трекеров со встроенными модулями GPS и Bluetooth.

Необходимые показатели измеряются до 1000 раз в 1 секунду и передаются пользователю с помощью GPS-трекеров, которые работают в тандеме с умными медицинскими стельками для сбора необходимых данных, отображаемых в приложении NURVV на телефоне или смарт-часах пользователя.

Управление такими умными медицинскими стельками также осуществляется с помощью приложения Nurvv на смартфоне пользователя, которое обрабатывает всю служебную информацию, поступающую с датчиков и трекеров Nurvv Run, и передает её на наушники, либо отображает на экране смартфона.

Трекеры Nurvv Run поддерживают устройства ANT+: такие, как Suunto 9 или Garmin Fenix 6, и напрямую передают на них собранную с умных медицинских стелек количественную статистику, а также приложение Apple Watch, которое дает хороший визуальный обзор,

тактильные и звуковые сигналы на умных часах [1,2] (при запуске Pace Optimizer также без Bluetooth-наушников).

В результате такие умные медицинские стельки определяют реальное значение давления, которое пользователь оказывает на свои ноги во время тренировочных пробежек.

Также, пока пользователь бежит, NURVV способно рассчитать ряд довольно важных показателей его движения:

- Баланс: степень баланса между левой и правой ногой в походке.
- Footstrike: место, где нога пользователя впервые соприкасается с поверхностью беговой дорожки.
- Пронацию, т.е. перекачивание стопы внутрь от момента её контакта с поверхностью беговой дорожки.
- Каденс - количество шагов в 1 минуту.
- Длину шага, т.е. расстояние, которое пользователь проходит с каждым шагом.

Кроме того, такое умное устройство способно записать пройденное расстояние, время и темп пробежек, а также интервалы, высоту, сожженные калории и частоту сердечных сокращений.

Хотя пользователь может получать собранные и проанализированные (подготовленные) данные по пробежке непосредственно во время своей тренировки, он также может анализировать все эти данные и впоследствии, получая их через специальное приложение. Это позволяет пользователю изучить, что означает каждая количественная метрика, которую ему выдает интеллектуальная система по улучшению предстоящих пробежек.

При этом каждый модуль оснащен 3-осевым акселерометром и 3-осевым гироскопом, а также Bluetooth и встроенной памятью (для хранения полученных оперативных данных).

Необходимо отметить, что такие умные медицинские стельки Runvi сразу же будут сообщать пользователю через наушники, правильно ли он выполняет свои беговые упражнения. Это позволит начинающим спортсменам избежать возможных физических травм, а опытным — сделать свои пробежки более эффективными.

Приложение Nurvv позволяет пользователю [6]:

- проводить тренировки в режиме реального времени с роботренером (функция Pace Optimizer) в помещении или на беговой дорожке;

- получать оценку тренировочной нагрузки и контролировать её с течением времени для предотвращения травм голеностопов;

- получать следующие данные о пробежке: каденсе, пронации стопы, симметрии стоп пользователя между левой и правой ногой, темпе, расстоянии, карте маршрута, а также количестве затраченных калорий. Причем данные по пронации стопы пользователь получает в виде тепловой карты (рис. 6), с указанием процента времени точек нагрузки стопы.

Эту функцию можно использовать и для других целей. Так, канадская компания Ogrux также разработала стельки для ног, оснащенные датчиками для измерения температуры стопы, чтобы определить, образуются ли изъязвления.

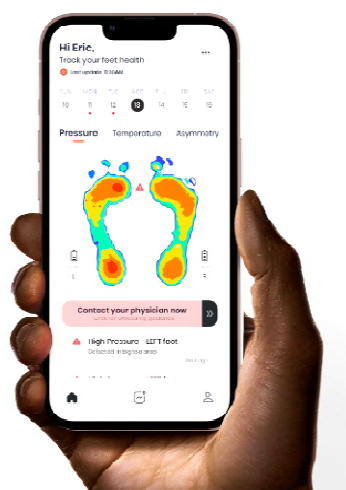


Рис. 6. Температурный фон стоп пользователя

GPS-трекеры, с помощью специального крепления - зажима с застёжкой и липучки (что надёжно удерживает их во время бега и других физических упражнений), устанавливаются на внешнюю поверхность обуви пользователя. Так как трекер находится снаружи, то он выполнен довольно устойчивым к воде, грязи и пыли и обладает классом защиты IPX7. Оба эти трекера имеют одну небольшую общую кнопку для включения их питания, а на правом – дополнительно находится большая кнопка "Активность", которая используется для запуска тренировки без телефона. Кроме того, на каждом GPS-трекере существуют 2 светодиода, поддерживающих 8 различных цветов-комбинаций, сигнализирующих о подключении, зарядке и их работе.

Толщина таких умных медицинских стелек обычно составляет около 1,2 мм, поэтому пользователь даже не чувствует их под стопой, что позволяет их использовать поверх традиционных стелек кроссовок. Вес одной стельки с GPS-трекером составляет 70 г.

Кроме того, умные медицинские стельки Runvi будут следить за тем, чтобы пользователь во время своих пробежек не переутомлялся чрезмерно, для чего на основе собранных данных разработанное приложение способно составить график прогресса пользователя. Пользователи могут устанавливать запланированные цели в своём смартфоне, и Runvi подскажет, как эффективнее организовать пробежки или осуществлять другие физические упражнения, чтобы достичь нужного результата.

Цена комплекта таких стелек и приложения Runvi составляет 138 долл. США.

Аналогично умные медицинские стельки Agion — это адаптивный ИИ-тренер, который учится тому, как пользователь бежит, и активно направляет его тренировки.

Умные медицинские стельки, чувствительные к давлению стопы. Учёные из швейцарских научно-исследовательских институтов ETH Zurich, Empa и EPFL совместно разработали и напечатали на 3D-принтере ортопедические стельки, которые выявляют точки избыточного давления на ступню, позволяя корректировать параметры обуви или походку пользователя. Это существенно упрощает постановку диагнозов и бережёт опорно-двигательный аппарат пользователя от возможной деградации [7].

Умные медицинские стельки, чувствительные к давлению (рис. 7), производятся на 3D-принтере, для чего сначала наносится гибкий базовый слой из наночастиц силикона и целлюлозы, а затем используются проводящие серебряные чернила для печати проводников. Далее сажевыми чернилами печатают датчики на проводниках. И, наконец, для защиты собранной электроники, сверху наносится ещё один слой силикона.

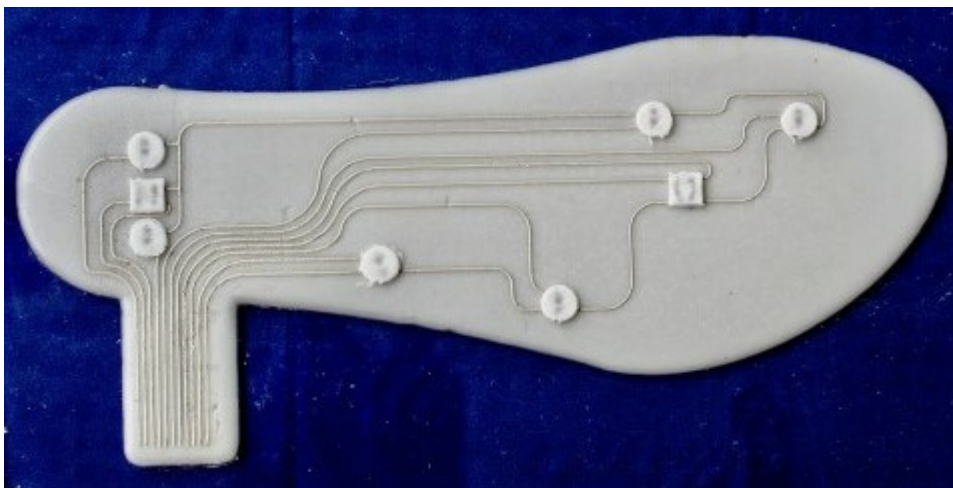


Рис. 7. Умные стельки, чувствительные к давлению стопы

Если существующие аналоги такого устройства во-многом зависимы от компьютера и внешнего источника питания, то разработанное устройство умных медицинских стелек работает на пьезоэлектрических датчиках и может эксплуатироваться несколько дней подряд, записывая и картируя точки патологического давления.

По собранным количественным данным давления можно установить характер перемещения пользователя: идёт ли он, бежит, поднимается по лестнице или даже несёт ли тяжёлый груз (в этом случае давление больше смещается на пятку пользователя).

Также было разработано устройство runScribe, которое, после детального анализа пары-тройки тренировок, позволяет понять, правильно ли пользователь ставит свою стопу при беге [8]. Для этого интеллектуальное техническое устройство оснащено 7-осевым акселерометром, что позволяет подробнейшим образом анализировать имеющуюся при беге, прыжках или катании на велосипеде физическую нагрузку на стопу.

DigiSole — более простой (и, соответственно, менее дорогой) аналог умных медицинских стелек runScribe, позволяющий не только проверять правильность постановки стопы, но и вести мониторинг физической активности пользователя.

Главная задача DigiSole — отслеживание распределения веса на стопу, с тем, чтобы при необходимости подкорректировать постановку стопы пользователя. Обычно неправильная постановка стопы приводит к возникновению разного рода проблем с ногами у людей, которые занимаются легкой атлетикой. Такие проблемы включают появление болей в ногах, возникновение растяжения сухожилий, чрезмерную нагрузку на некоторые кости и мышцы и т.п.

После одной-двух тренировок DigiSole собирает всю необходимую информацию (одновременно передавая ее на смартфон по Bluetooth), а уже приложение для смартфона анализирует полученные данные о биомеханике пользователя, их интерпретирует и визуализирует. Результат такой работы — формирование вполне понятных для пользователя графиков и карт распределения нагрузки на его стопы.

Кроме того, DigiSole ведет мониторинг физической активности пользователя, показывая затем ему полученный результат. Как и в случае с прочими фитнес-гаджетами, здесь имеется возможность установки целей и строгого отслеживания их выполнения.

Такая умная стелька DigiSole имеет следующее устройство (рис. 8).

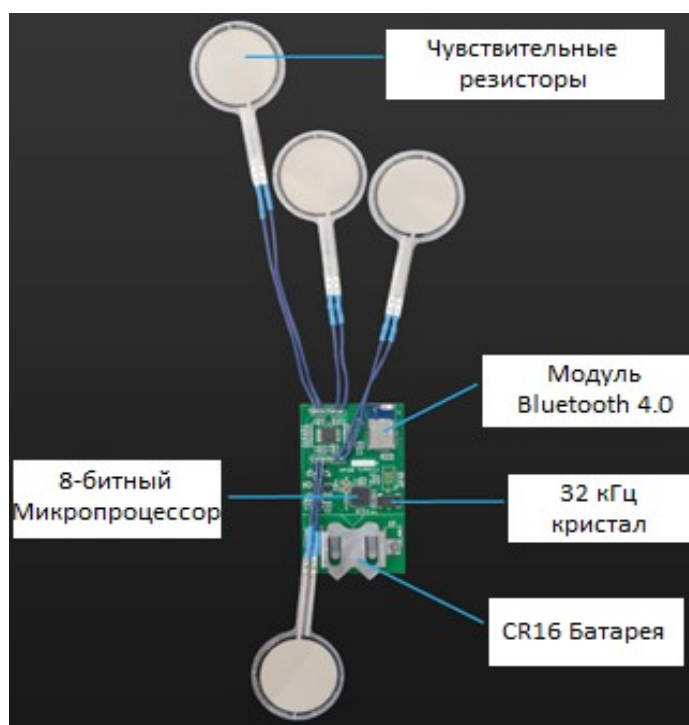


Рис. 8. Устройство умной стельки DigiSole

Все собранные данные передаются в приложение для смартфона. При этом DigiSole поддерживает работу с мобильными устройствами как на Android, так и на iOS.

Стоимость пары таких стелек 100 долл. США.

Анатомические умные медицинские стельки для детей. Умные стельки Smart Step предназначены для обеспечения здорового развития детских стоп [9]. Для этого обувь Vico снабжена анатомическими стельками Smart Step, которые подстраиваются под естественное развитие детской стопы, не мешая развиваться имеющимся процессам человеческой природы.

При этом умные медицинские стельки Smart Step помогают природе обеспечивать максимальный комфорт и поддерживать физиологическое развитие строения стопы ребенка, способствуя естественному развитию на всех этапах его роста. Кроме этого, такие стельки уменьшают нагрузку на позвоночник, тазобедренные, коленные и голеностопные суставы ребенка, помогая их правильному формированию.

При этом такие умные медицинские стельки обладают малым весом, анатомической мягкостью и гибкостью, а также высокой амортизацией, что делает подобную обувь невероятно легкой и мобильной, поддерживая развитие биологической устойчивости стопы и устраняя возникающую при длительном пребывании на ногах усталость.

Помимо этого, такие умные медицинские стельки предупреждают возможное усугубление плоскостопия и возможное развитие патологических состояний опорно-двигательного аппарата (рис. 9), сохраняя в целом комфортную активность ребенка и улучшая его общее самочувствие.

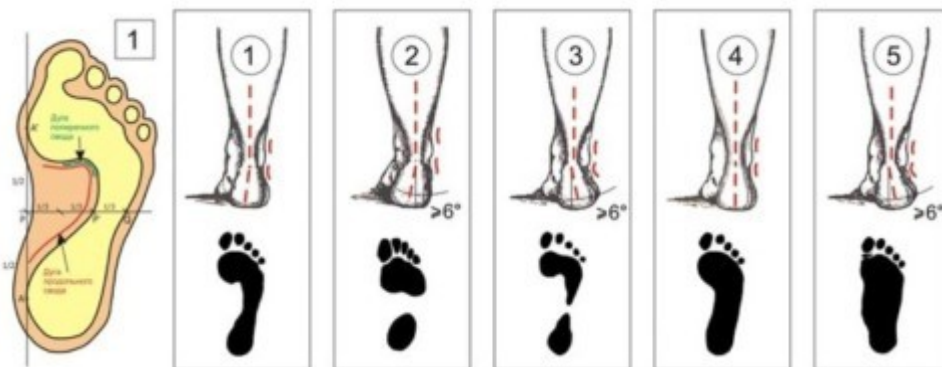


Рис. 9. Различные варианты стоп человека:

- 1 – нормальная стопа 2 – “полая” стопа (продольный свод чрезмерно высок) 3 – вальгусная стопа (продольный свод уплощен) 4 – уплощенная стопа (продольный и поперечный своды уплощены) 5 – плоско-вальгусная стопа (продольный и поперечный своды отсутствуют).

Для этого умные Smart Step устроены следующим образом.

Стелька Smart Step – состоит из 4-х отдельных частей, многочисленные особенности и сочетание которых образуют её оптимальную анатомическую структуру.

Memory Foam – анатомическая пена с эффектом памяти, является полиуретановой прокладкой (с антибактериальной пропиткой). Она довольно хорошо запоминает форму стопы, плотно обволакивая ее, создавая удобное ложе для ножки ребенка, тем самым позволяет его стопе сохранять правильное положение, гибкость и мобильность.

Анатомический вкладыш – ножка ребенка еще плоская, специальный вкладыш имитирует необходимый подъем, поддерживающий свод стопы, предупреждает усталость ног и дискомфорт, регулируя должный уровень амортизации.

Амортизатор ударов (Shock Absorber) – поглощает возможные удары, возникающие при ходьбе и беге, равномерно распределяя вес тела ребенка на всю его стопу.

Заключение. Умные медицинские стельки имеют большее количество функций, чем другие аналогичные гаджеты, а также обладают возможностью более точного мониторинга физического состояния организма пользователя, на основе чего возможно более раннее оповещение о начале ряда заболеваний.

Литература

1. Воробьев А.Е., Раимбекова Д.М., Кадырбекова С.С. Развитие электронной smart-медицины в XXI веке. М., Спутник. 2022. 85 с.
2. Воробьев А.Е. Инженерный путь развития цифровой smart-медицины. – Москва - Вологда. Инфра-Инженерия. 2023. – 200 с.
3. Воробьев А.Е., Кадырбекова С.С. Применяемые в медицине наночастицы // Вестник Международного университета им. К.Ш. Тохтомаматова N 4. 2022. С. 269-274.
4. Лунный реактор и умные стельки: топ-30 инноваций ноября // <https://trends.rbc.ru/trends/innovation/5dde87799a79474f94404766>.
5. Сажко Д. Штука дня: умные стельки для обуви, которые научат вас бегать правильно // <https://lifelhacker.ru/runvi>.
6. Умные стельки для бегунов и велосипедистов // <https://chipgifts.ru/nurvv-run>.

7. Умные стельки помогут обнаружить незаметные проблемы с осанкой // https://4pda.to/2023/03/26/411065/umnye_stelki_pomogut_obnaruzhit_nezametnye_problemy_s_osankoj.
8. Умные стельки DigiSole научат правильно ставить стопу и будут вести мониторинг за физической активностью владельца // <https://habr.com/ru/companies/medgadgets/articles/236493>.
9. Халилова Л. SMART STEP – Анатомические стельки с памятью стопы // <https://vicco.uz/smart-step>. 11.06.2021.
10. Ariel Grossman. Custom 'smart' insoles combat dangerous diabetic foot ulcers // <https://nocamels.com/2023/06/custom-smart-insoles-combat-dangerous-diabetic-foot-ulcers>. 2023.
11. Feng Lin, Aosen Wang, Yan Zhuang, Machiko R. Tomita and Wenyao Xu. Smart insole: a wearable sensor device for unobtrusive gait monitoring in daily life // IEEE. Transactions on Industrial Informatics. 2017. DOI 10.1109/TII.2016.2585643.
12. Multiple Sclerosis Management that's smart and convenient // <https://celestrahealth.com>.
13. Prevent falls in multiple sclerosis, parkinson's & elderly // <https://celestrahealth.com/prevent-falls-in-ms-parkinsons-and-elderly>.
14. Smart Insole™ Heel Pain Relief // <https://www.bielcorp.com/products/smart-insole>.
15. Vorobyov A.E., Madaminov A.S., Suleimanov A.M. Smart medical insole // 7th International conference on medical & health sciences. July 06-08, 2023 / Ordu, Türkiye. 2023. С. 859-860.