**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ**

**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)**

**Кафедра МОЭВМ**

**ОТЧЕТ**

**по научно-исследовательской практике**

**Тема: Обзор статьи: “A skin-integrated device for neck posture monitoring and correction​”**

| Студенты гр. 1384 | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | Усачева Д.В.  Бобков В.Д.  Пчелинцева К.Р. |
| --- | --- | --- |
| Руководитель | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | Иванов Д. В. |

Санкт-Петербург, 2024

**ЗАДАНИЕ**

**НА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ПРАКТИКУ**

| Студент Бобков В. Д. | | |
| --- | --- | --- |
| Студентка Усачева Д. В. | | |
| Студентка Пчелинцева К. Р. | | |
| Группа 1384 | | |
| Тема практики: Обзор статьи «A skin-integrated device for neck posture monitoring and correction» | | |
| Задание на практику:  Выполнить подробный обзор предложенной статьи, включающий в себя анализ: поставленных в рамках исследования цели и задачтематики статьиметодов обоснованияиспользуемых данныхрезультатов исследования | | |
| Сроки прохождения практики: 05.03.2024 – 13.05.2024 | | |
| Дата сдачи отчета: xx.xx.2024 | | |
| Дата защиты отчета: xx.xx .2024 | | |
|  | | |
| Студент |  | Бобков В. Д. |
| Студент |  | Усачева Д. В. |
| Студент |  | Пчелинцева К. Р. |
| Руководитель |  | Иванов Д. В. |

**АННОТАЦИЯ**

Цель научно-исследовательской практики – получение навыков анализа научных работ.

Оригинальное название исследуемой статьи: A skin-integrated device for neck posture monitoring and correction

Русскоязычное название исследуемой статьи: Интегрированное в кожу устройство для мониторинга и коррекции положения шеи.

Авторы исследуемой статьи: Hu Luo, Tianhao Jin, Yu Zhang, Bohao Tian, Yuru Zhang & Dangxiao Wang

Цель исследования, приведенного в статье: Создание автономного устройства в форм-факторе e-skin для стабильного определения и коррекции положения шеи человека с помощью одного инерциального датчика и четырех вибротактильных приводов.

**SUMMARY**

The purpose of research practice is to gain skills in analyzing scientific work.

Original title of the article under study: A skin-integrated device for neck posture monitoring and correction

Authors of the researched article: Hu Luo, Tianhao Jin, Yu Zhang, Bohao Tian, ​​Yuru Zhang & Dangxiao Wang

The purpose of the research presented in the article: Creation of an autonomous device in the e-skin form factor for stable determination and correction of the position of the human neck using one inertial sensor and four vibrotactile actuators.

**СОДЕРЖАНИЕ**

|  | Введение | 7 |
| --- | --- | --- |
| 1. | Поставленная цель и задачи | 8 |
| 2. | Тематика статьи | 10 |
| 3. | Методы обоснования | 11 |
| 4. | Характеристика используемых данных | 13 |
| 4.1. | Методы проведения эксперимента | 13 |
| 4.2. | Используемые данные и их характеристики | 14 |
| 4.3. | Способы обработки измерений | 15 |
| 4.4. | Правомерность выводов по итогам эксперимента | 18 |
| 5. | Характеристика выводов | 19 |
| 5.1. | Соответствие результата и цели статьи | 19 |
| 5.2. | Раскрытие результатов задач статьи | 20 |
| 5.3 | Направления дальнейших исследований | 20 |
| 6. | Достигнутый результат | 22 |
| 6.1. | Чем именно является результат | 22 |
| 6.2. | Характер результата | 23 |
| 6.3. | Характеристики результата | 23 |
| 6.4. | Границы применимости результата и степень его универсальности | 23 |
| 6.5. | Технические ограничения полученного результата | 24 |
| 6.6. | Недостатки полученного решения | 25 |
| 6.7. | Вопросы касательно результата | 25 |
| 7. | Качество списка литературы в статье | 26 |
| 8. | Качество иллюстративного материала | 28 |
|  | Заключение | 29 |

**ВВЕДЕНИЕ**

Исследование, проведенное Луо Х., Цзинь Т., Чжан Ю. и др. его коллегами и опубликованное в журнале Microsystems & Nanoengineering в 2023 году, посвящено созданию устройства, интегрируемого в кожу, для мониторинга и коррекции положения шеи. Актуальность данного исследования обусловлена растущим числом людей, страдающих от проблем, связанных с неправильной осанкой из-за длительного сидения за компьютером или использования гаджетов.

В статье рассматривается использование симуляционного и натурного экспериментов. Устройство прикреплялось к цифровому уровню, проходили эксперименты по сжатию, растяжению и вибрации. Механическая система использовалась для растяжения. Устройство eskin применялось для классификации и анализа положения шеи.

В результате исследования удалось продемонстрировать работоспособность устройства и его способность эффективно мониторить и корректировать положение шеи. Это представляет значимость для людей, страдающих от проблем с позвоночником из-за неправильной осанки, а также для профилактики и коррекции подобных проблем.

**1. ПОСТАВЛЕННАЯ ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ**

Цель авторов статьи: Создание автономного устройства в форм-факторе e-skin для стабильного определения и коррекции положения шеи человека с помощью одного инерциального датчика и четырех вибротактильных приводов.

Для достижения поставленной цели авторы разделяют весь процесс на 5 ключевых этапов. Соответственно, перед ними возникают следующие задачи:

1. Спроектировать и изготовить устройство e-skin.

2. Найти (разработать) алгоритм для оценки положения шеи.

3. Проверить стабильность и липкость e-skin при движении шеи, скорость распознавания вибротактильных раздражителей, а также проверить определения угла наклона и бокового поворота.

4. Протестировать работу устройства на людях для выявления практических достоинств и недостатков устройства.

5. Сделать выводы о практичности устройства e-skin, о проблеме с положением шеи у современного человека.

Следует отметить то, что в первом разделе авторы статьи обосновывают актуальность технологии мониторинга положения шеи в виду того, что большое количество времени современный человек проводит сидя за компьютером, в телефоне или читая книги, что влияет на осанку.

Разделы, раскрывающие вышеописанные задачи:

- Раздел "Materials and methods. Fabrication of the e-skin device" - описывается процесс изготовления устройства e-skin для мониторинга и корректировки положения шеи.

- Раздел "Materials and methods. Neck posture estimation algorythm" - приводится демонстрация и объяснения алгоритма оценки положения шеи.

- Раздел "Results. E-skin design analysis", "Results. Sensing test", "Results. Mechanical properties and stickiness" - в данных разделах приводится проверка стабильности устройства в разных условиях, анализируется форма устройства, тестируется чувствительность устройства.

- Разделы "Results. Localized vibrotactile stimuli", "Results. User study", "Results. Analysis", "Results. Interview and comments" - в первом разделе указываются результаты эксперимента, в ходе которого 12 человек используют устройства в течение 15 минут, во втором разделе описывается второй эксперимент, в ходе которого те же 12 человек были разделены на 3 группы для трех сценариев: игры на смартфоне, чтение книг и использование компьютера, на протяжении 20 минут участники эксперимента, в результате которого были получены данные, описанные в третьем разделе. В последнем разделе указаны комментарии участников эксперимента о практичности устройства e-skin.

- Раздел "Discussion" - в данном разделе были указаны выводы касательно работы устройства e-skin и касательно результатов экспериментов.

**2. ТЕМАТИКА СТАТЬИ**

Тематики статьи - биомедицина, биомедицинская инженерия, микросхемы и наноинженерия.

Эта статья посвящена исследованиям в области биомедицины, которая занимается изучением биологических процессов в организме человека. Биомедицинские исследования направлены на разработку новых методов диагностики, лечения и профилактики различных заболеваний. Они играют важную роль в повышении качества жизни и продлении продолжительности жизни людей. В данной статье рассматриваются современные тенденции и достижения в области биомедицинских исследований.

Авторы статьи представляют инновационное автономное устройство для борьбы с распространенным заболеванием - шейным спондилезом: "This paper explores building an untethered and skin-integrated device in an e-skin form factor to monitor and haptically correct neck posture."

Тематика статьи связана с областями науки, такими как микросхемы и наноинженерия, что подтверждается содержанием раздела "Materials and methods".

**3.МЕТОДЫ ОБОСНОВАНИЯ**

1. Экспериментальный метод (симуляционные).

Экспериментальный метод был использован для тестирования правильности определения угла наклона и механических свойств электронной кожи в виртуальной среде с целью оценки их потенциального поведения и производительности: *"A digital level was used as a criterion to validate the sensing ability of the e-skin device. The digital level (GIM60 Professional, BOSCH, Germany) is intended for precise measuring of inclines".*

Далее приведена еще одна цитата из статьи по данном методу:*"We tested the e-skin’s mechanical properties by bending and stretching the device, as shown in Fig. 2c".*

Для определения наиболее надежного способа крепления устройства и проверки липкости проводились тесты сначала непосредственно на шее, позднее на тыльной стороне руки испытуемого: *"To further quantify e-skin adhesion, we used a universal testing machine to measure the pulling force of e-skin adhesion".*

Для проверки стабильности липкости устройства участнику тестирования предлагалось выполнить множественные сгибания шеи: *"Therefore, we can conclude that e-skin can stably attach to the participant’s neck and follow changes in different neck postures during flexion and lateral bending."*

2. Экспериментальный метод (натурные).

Проводились тесты на добровольцах, где электронная кожа была непосредственно применена на коже для проверки ее функциональности и эффективности в реальных условиях использования.

Сначала проводился тест, в котором испытуемый носил устройство в течение всего дня: *"Upon analyzing the underlying reasons for this data, we believe that during the process of detachment and attachment to the neck and hand-dorsal (testing machine), it cannot prevent the e-skin device from repeated dust/perspiration accumulation and loss of adhesive material."*

Для проверки корректности работы вибротактильных стимулов устройства в тестировании участвовало 12 испытуемых. Результаты тестирования подробно описаны в разделе "Results. Localized vibrotactile stimuli". Далее в разделе "Results. User study" приведено описание испытаний устройства в трех типичных сценариях использования: игры на смартфонах, чтение книг и работа с файлами на компьютерах.

Также была получена обратная связь от испытуемых, благодаря которой можно сделать выводы об эффективности данного устройства: *"This implies the suitability for the intuitive cuing of the correction directions for neck postures when the participants are immersed in high-concentration tasks, especially in situations such as book readings and computer office tasks."*

3. Анализ данных.

В эксперименте были проведены наблюдения за участниками в различных сценариях использования. Данные о височном положении шеи и событиях вибротактильной коррекции были записаны и проанализированы. На основе временных графиков было видно, что устройство электронной кожи успешно отслеживало наклон и поворот шеи участников в реальном времени, а также эффективно выполняло коррекцию при обнаружении ненормальных состояний позы. Результаты анализа данных подробно описаны в разделе "Results.Analysis".

**4. ХАРАКТЕРИСТИКА ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДАННЫХ**

**4.1. Методы проведения эксперимента**

Было использовано 2 метода проведения эксперимента: симуляционный и натурный. В первом случае был проведен эксперимент, в котором проводилась оценка чувствительности прибора. В данном эксперименте устройство крепилось на цифровой уровень, уровень был установлен под определенным углом с помощью блока, установленного под ним, угол менялся за счет движения блока. Затем устройство сжималось и растягивалось в руке, была проведена проверка функционирования вибрации с помощью ускорительной платы. Также для растяжения устройства был проведен эксперимент, в котором использовалась механическая система.

Для проверки форм-фактора, липкости, местоположения вибротактильных стимулов,посылаемых устройством eskin, классификации тяжести положения шеи и для анализа местоположения шеи был использован натурный метод проведения эксперимента. Проверка липкости производилась в ходе 60 непрерывных движений шеи в ходе 15 минут на шее человека. Также была проведена проверка силы сцепления устройства с кожей шеи и руки испытуемого. Для первого измерения силомер прикрепили к пластине и тянули до тех пор, пока устройство не было удалено с кожи шеи. Для второго измерения нижняя сторона устройства крепится к коже тыльной стороны руки, сжатой в кулак, а верхняя сторона четырехструнно соединена с квадратной платой. Проверка форм-фактора и местоположения вибротактильных стимулов производилась в ходе эксперимента, в котором участвовали 12 человек. В ходе эксперимента участники должны были указывать местоположение вибрации, во второй части эксперимента производилась оценка положения шеи испытуемых, в то время как они были заняты 3-мя видами деятельности: игры на смартфонах, чтение книг и работа с файлами на компьютерах, также участники сделали вывод о том, что устройство в этом форм-факторе способно воспроизводить локализованные вибротактильные стимулы, которые могут быть распознаны участниками (изоляция восприятия). Более того, десять участников отметили, что устройство e-skin отличается удобным форм-фактором и малым весом. Для классификации тяжести положения шеи был проведен эксперимент, в ходе которого 4 человека должны были сгибать шею до момента, пока не почувствуют дискомфорт в области шеи. Кроме того, была измерена скорость растяжения кожи шеи у трех участников

**4.2. Используемые данные и их характеристики**

Для создания автономного устройства в форм-факторе e-skin были использованы данные, такие как:

* углы наклона платы на цифровом уровне. Плата прикреплялась к цифровому уровню двумя различными способами: вертикально и горизонтально. Тестирование начиналось с показаний цифрового уровня 0°, затем с шагом 10° проводилось 18 измерений для каждого из двух положений;
* радиус кривизны устройства при его сгибании. Для получения данных устройство было сжато в руке, после зафиксирован радиус его кривизны;
* способность устройства растягиваться. Для измерения скорости растяжения использована механическая система;
* длина и ширина безволосой кожи на задней поверхности шеи 6 испытуемых (средняя масса тела: 78,3 ± 25,5 кг). Длина была определена как расстояние между горизонтальной линией плеч и концами волос на голове, а ширина была определена как расстояние между концами волос на левой и правой сторонах задней части кожи шеи;
* углы сгиба шеи 4 испытуемых, когда они чувствовали дискомфорт;
* скорость растяжения кожи шеи 3 испытуемых при максимальных изгибах;
* сила сцепления устройства с кожей шеи и руки испытуемого. Для первого измерения силомер прикрепили к пластине и тянули до тех пор, пока устройство не было удалено с кожи шеи. Для второго измерения нижняя сторона устройства крепится к коже тыльной стороны руки, сжатой в кулак, а верхняя сторона четырехструнно соединена с квадратной платой, на которой закреплен датчик Nano17;
* правильность распознавания стимулов устройства (160 испытаний для каждого из 12 испытуемых). Испытание состояло последовательности 2-секундных вибротактильных стимулов и 2-секундной паузы для случайно выбранного направления. Во время паузы участники устно сообщали о местоположении ощущаемого стимула (вверх, вниз, влево, вправо). Ответы записывались после каждого отчета;
* положение шеи 12 участников в трех сценариях использования устройства (игры на смартфонах, чтение книг и работа с файлами на компьютерах). На протяжении всего теста участников просили сосредоточиться на своих задачах. На них были надеты наушники, воспроизводящие розовый шум для блокирования слабых звуков. Положение шеи участников отслеживалось в режиме реального времени, данные о наклоне шеи поступали на ноутбук с интервалом в 5 секунд.

**4.3. Способы обработки измерений**

Для получения данных были использованы устройства:

* GIM60 Professional, BOSCH, Германия, который предназначен для точного измерения уклонов, использовался в качестве критерия для проверки сенсорной способности устройства e-skin.
* Плата ускорителя от TI (ADXL326, DRV-AAC16-EVM, TI), используется для проверки функционирования вибрации e-skin.
* Анемометр (точность: ±0,5%, VC10N, Victor Instrument Co. Ltd., Китай), используется для измерения липкости.
* Универсальная испытательная машина, система которой состоит из датчика силы ATI Nano17 (ATI Industrial Automation, США) и тянущего механизма, использовалась для количественной оценки адгезии электронной кожи.
* Плата Arduino UNO, использовалась для управления серводвигателем, который перемещал датчик силы Nano17 вдоль направляющей.
* Линейный резонансный привод (LRA), генерирует синусоидальную вибрацию перпендикулярно коже шеи. Целью стратегий вибротактильной обратной связи является предотвращение возникновения у пользователей аномальных состояний шейного отдела позвоночника путем корректировки состояния шеи с выпрямления, предупреждения или опасности до нормального.

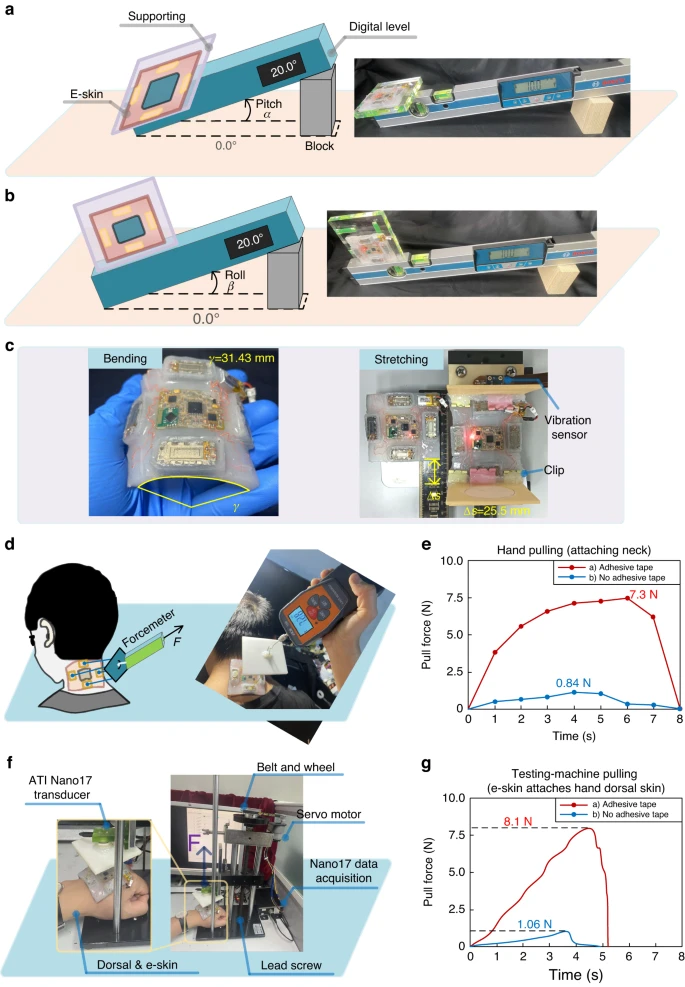


Рис. 1: Проверка углового восприятия, механических свойств и липкости, а также локализации вибротактильных стимулов.

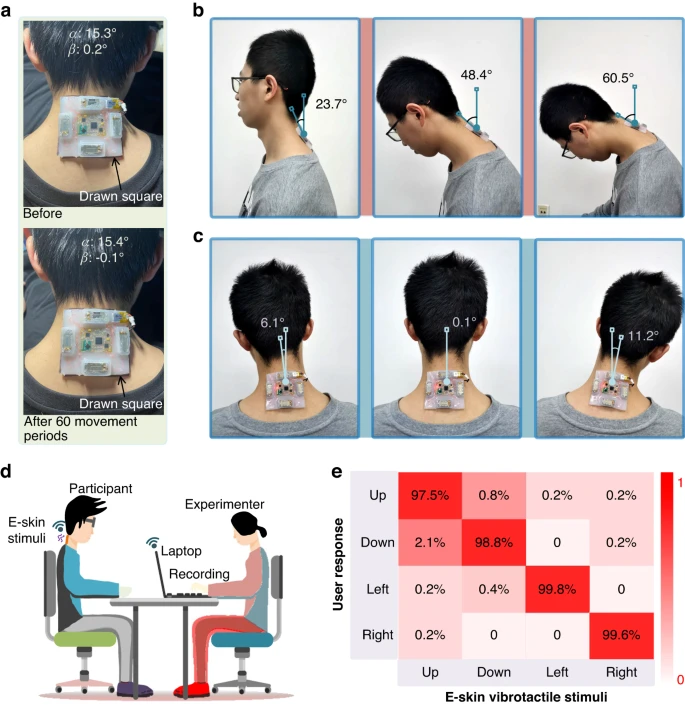


Рис. 2: Стабильность и липкость электронной кожи при движении шеи, а также правильная скорость распознавания локализованных вибротактильных стимулов.

Для обработки измерений были применены такие критерии как:

* RMSE (среднеквадратическая ошибка), использовался для оценки точности алгоритма фильтрации и процесса оценки положения шеи при рендеринге вибротактильных стимулов.
* Инверсия Фурье, использовалась для преобразования сигналов, полученных от датчика, из частотной области обратно во временную область.

Были использованы такие алгоритмы как:

* Алгоритм оценки положения шеи, использовался для данных, полученных от встроенного акселерометра, где встроенная координата была использована в качестве базовой для расчета положения шеи.
* Стратегия вибротактильной обратной связи, применяется для предотвращения возникновения у пользователей аномальных состояний шейного отдела позвоночника. Данный алгоритм основан на генерации синусоидальной вибрации перпендикулярно коже шеи с заданными параметрами

Анализ и обработка полученных данных позволили сделать выводы о точности, практичности и удобстве разрабатываемого устройства.

**4.4. Правомерность выводов по итогам эксперимента**

Предложенные в статье методы демонстрируют высокую эффективность во всех направлениях. Так при оценке положения шеи были выявлены среднеквадратические ошибки α и β равные 1.37° и 1.14° соответственно. Смотря на эти оценки, было сделано заключение, что алгоритм фильтрации и процесс оценки положения шеи достаточно точны. Также были сделаны выводы о том, что устройство электронной кожи в форм-факторе способно отображать локализованные вибротактильные стимулы. Правильный показатель для каждого места составил более 97,5% в 480 исследованиях (среднее по всем четырем местам: 98,9%).

Предложенное устройство электронной кожи действительно эффективно отслеживает наклон и поворот шеи участников в режиме реального времени и успешно выполняет коррекцию с помощью вибротактильных стимулов. Результаты показывают, что все участники за несколько секунд возвращаются в нормальное состояние, т. е. 100% успешная коррекция, что подтверждает высокую эффективность использования устройства e-skin для мониторинга осанки шеи.

**5. ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫВОДОВ**

**5.1. Соответствие результата и цели статьи**

По анализу итога работы и поставленных целей и задач можно сделать вывод, что авторы успешно достигли желаемого результата, представив эффективное устройство для мониторинга и коррекции положения шеи. Достижение своей цели авторы отмечают в разделах "Discussion" и "Conclusion".

Целью авторов было создать эффективное устройство, которое можно использовать для коррекции положения шеи, устройство должно быть точным, быть удобным в носке. В разделе “Results. Sensing test” были приведены полученные погрешности измерений углов наклона, каждая из которых не превышает 10%, что говорит о довольно высокой точности устройства. В разделе “Results. Mechanical properties and stickiness” были получены результаты эксперимента растяжения и сжатия устройства, в ходе которого был получен минимальный радиус кривизны электронной кожи 31,43 мм, что включает эквивалентный радиус кривизны человеческой шеи 50,92 мм. Так же скорость растяжения кожи шеи составила 22,7%, а устройства 38,6%. Это говорит о том, что устройство подходит для шеи человека. В этом же разделе указаны результаты эксперимента, в ходе которого производились непрерывные сгибания и наклоны шеи в течение 15 минут, был сделан вывод в результате данного эксперимента: ”*Therefore, we can conclude that e-skin can stably attach to the participant’s neck and follow changes in different neck postures during flexion and lateral bending*”.

Также в разделе “Results.Localized vibrotactile stimuli” были приведены результаты эксперимента, в ходе которого участники должны были правильно распознавать местоположение вибротактильных стимулов, посылаемых устройством, был получен результат более 97,5% в 480 испытаниях, что является отличным результатом: ”*Thus, we conclude that the e-skin device in this form factor design is able to render localized vibrotactile stimuli that can be discriminated by participants (perceptual isolation)*”.

**5.2. Раскрытие результатов задач статьи**

В разделе “Conclusion” обобщаются все результаты, полученные в ходе экспериментов и приводится вывод касательно данных результатов: ”*This paper presented an untethered and skin-integrated device with an e-skin form factor. The device is capable of sensing and providing vibrotactile feedback on the neck of the cervical spine to monitor and haptically correct the neck posture. The proposed multilayer structure integrated all flexible electronic circuits and components into a compact skin space for the form factor of an e-skin device*”.

Был приведен вывод касательно свойств устройства: точность, механические свойства, липкость и эффективность при отслеживании изменения различных положений шеи при сгибании шеи и боковом сгибании, а также возможность перцептивной изоляции локализованного вибротактильного различения: ”*We conducted a user study that further verified the favorable performance of the soft e-skin device in sensing the posture of participants and performing vibrotactile corrections in situations of using smartphones, reading books, and processing computer files*”.

Был приведен вывод касательно возможности использования устройства: ”*Thus, the e-skin device might create opportunities for cervical spondylosis prevention and rehabilitation.*”

**5.3. Направления дальнейших исследований**

В статье авторы указывают направления для дальнейших разработок: разработка более тонкой конструкции как цель для дальнейшей оптимизации устройства: ”*In addition, a thinner e-skin design can contribute to compliance to follow the lateral bending of users, which is one of our following goals to optimize the device.*”

Как направление для дальнейших разработок также указывается исправление ситуации, в которой положение талии влияет на измерения устройства: ”*Furthermore, posture estimation of the IMU-based e-skin device could be impacted by the abnormal posture of the waist (lumbar vertebra posture) and not just the neck posture. This could possibly be optimized through algorithm design by using another e-skin device to monitor the waist posture.*”

**6. ДОСТИГНУТЫЙ РЕЗУЛЬТАТ**

**6.1. Чем именно является результат**

Результатом исследования авторов является автономное устройство в форм-факторе e-skin для стабильного определения и коррекции положения шеи человека.

Устройство представлено в виде носимой электроники, которая интегрируется в кожу.

Предложенное устройство позволяет непрерывно мониторировать положение шеи в различных сценариях использования и предоставлять тактильные сигналы для коррекции ее положения, а также загружает измеренные значения тангажа и крена по беспроводной сети на ноутбук с интервалом 5 секунд. Это может быть полезно для предотвращения различных проблем и для улучшения состояния позвоночника.

Дизайн электронной кожи очень тщательно продуман и нацелен на обеспечение комфортного и эффективного использования. E-skin имеет прямоугольную форму, средний размер 66 × 71 мм для оптимального соответствия форм-фактору кожи шеи. Устройство e-skin было испытано на изгиб и растяжение, и скорость растяжения кожи шеи участников составила в среднем 22,7%. При использовании тестовой механической системы скорость растяжения инкапсулированного устройства электронной кожи была не менее 38,6%. Силикон, используемый в исследовании, обладает способностью растягиваться более чем на 900%, что указывает на высокую гибкость материала. А также используются медицинские клейкие двусторонние ленты с прочной и приятной для кожи липкостью. Присутствуют механизмы для обеспечения комфортности кожи. Также оптимизировано расположение электронных компонентов для уменьшения толщины устройства и улучшения механических свойств.

Устройство e-skin обладает достаточной точностью для определения и коррекции положения шеи. Среднеквадратическая ошибка для угла сгибания и бокового изгиба шеи: 2,26% и 5,09% соответственно.

**6.2. Характер результата**

Результат является прикладным, так как разработанное устройство имеет конкретное практическое применение - оно поможет людям контролировать и корректировать положение своей шеи, что может быть особенно полезно для людей, ведущих сидячий образ жизни или страдающих от проблем с позвоночником.

**6.3. Характеристики результата**

Разработанное устройство в форме e-skin представляет собой инновационное решение для контроля и коррекции положения шеи. Его технологическая уникальность заключается в возможности обеспечения тактильной обратной связи пользователю, что делает его эффективным инструментом в области здравоохранения и ухода за позвоночником. Однако, устройство имеет определенные ограничения, включая ограничения в использовании для определенных категорий пользователей и технические ограничения по точности измерений, долговечности, надежности и питанию. Разработчики могут рассмотреть дальнейшее усовершенствование устройства, адаптацию к различным физиологическим особенностям и оптимизацию функциональности для повышения его ценности и привлекательности на рынке.

**6.4. Границы применимости результата и степень его универсальности**

Устройство e-skin эффективно мониторит и корректирует положение шеи, обеспечивая тактильную обратную связь. При этом с квадратной формой электронной кожи могут возникнуть ограничения при боковом изгибе. Это может привести к искажению оценок положения тела. Однако, как упоминалось, изучение показало, что нарушения сгибания более распространены, чем боковые изгибы.

Также важно учитывать, что оценка осанки с использованием этой электронной кожи может быть затруднена при ненормальном положении талии, а не только шеи. Поэтому для оптимизации оценки рекомендуется использовать другое устройство для наблюдения за положением талии.

Итак, границы применения этого результата связаны с формой электронной кожи и особенностями телесных движений. Разработка дополнительных алгоритмов и использование других устройств могут помочь улучшить точность и универсальность измерений.

Электронная кожа может быть не подходящей для детей из-за их быстрого роста и изменчивости телосложения. Для детей требуется более гибкое и настраиваемое устройство, способное адаптироваться к их изменяющимся потребностям и размерам. Также важно учитывать деликатность детской кожи и специфику детского поведения, что может потребовать дополнительных мер безопасности и функциональности.

**6.5. Технические ограничения полученного результата**

1) Точность измерений:

В случае наклона шеи погрешность измерения составляет 2.26%, а в случае бокового изгиба шеи погрешность уже в 2 раза больше и составляет 5.09%, а если своевременно не менять клейкие ленты, которые нужны для крепления с кожей шеи, то погрешность будет еще больше.

2) Ограничения по питанию:

Устройство требует специфической батареи для питания всех компонентов, таких как акселерометр, линейный резонансный привод, микроконтроллер и беспроводной модуль. Устройство использует 3В для питания линейного резонансного привода, и аккумулятор с определенными характеристиками (19,5 мм × 10 мм × 3,2 мм). При расчете времени автономной работы устройства

необходимо учитывать потребление энергии различных компонентов. Однако этот аспект не описан авторами статьи, поэтому не получится оценить автономность устройства.

**6.6. Недостатки полученного решения**

- Необходимость менять клейкие двусторонние ленты для качественного сцепления с кожей шеи.

- Возможность влияния сторонних факторов на оценку местоположения шеи(ландшафт, положение талии)

- Возможность нарушения оценки при боковом сгибании из-за того, что при использовании квадратной формы устройства податливость кожи для бокового сгибания будет не такой подходящей, как изгиб для сгибания.

**6.7. Вопросы касательно результата**

1) Какой промежуток времени устройство будет работать корректно при ежедневном использовании?

2) Нашло ли это устройство практическое применение в медицине?

**7. КАЧЕСТВО СПИСКА ЛИТЕРАТУРЫ В СТАТЬЕ**

Основываясь на списке ссылок, можно сделать следующие выводы:

1. Самая старая статья из списка: Юдас Дж.В., Гаррет Т.Р., Суман В.Дж., Богард К.Л., Холлман Х.О. и Кэри Дж.Р. Нормальный диапазон движений шейного отдела позвоночника: первоначальное гониометрическое исследование. *Физ. Там.* **72** , 770–80 (1992). Большая часть цитируемых статей были опубликованы меньше 15 лет назад, что делает цитируемый материал актуальным.
2. Количество цитируемых работ: 45, что говорит о том, что авторы статьи опирались на большое количество информации.
3. Большое количество работ непосредственно связаны с Институтом инженеров электротехники и электроники: Данн Л.Е., Уолш П., Герман С., Смит Б. и Колфилд Б. Носимый мониторинг положения позвоночника в положении сидя. *IEEE Транс. Биомед. Цирк. Сист.* **2** , 97–105 (2008), Данн Л.Е., Уолш П., Смит Б. и Колфилд Б. Разработка и оценка носимого оптического датчика для мониторинга положения позвоночника в положении сидя. В *Proc. 10-й Международный симпозиум IEEE по портативным компьютерам* , стр. 65–68, 2006 г, Брин П.П., Нисар А. и О.Лэйгин Г. Оценка единой системы биологической обратной связи на основе акселерометра для коррекции положения шеи у пользователей компьютеров в реальном времени. В *Proc. Ежегодная международная конференция Общества инженерии в медицине и биологии IEEE* , стр. 7269–72, 2009 г. и т.д.

Список литературы в статье является качественным и информативным. Выводы, основанные на анализе списка ссылок, позволяют сделать следующие наблюдения:

1. **Актуальность цитируемого материала:** Статья опирается на широкий спектр источников, причем большая часть из них опубликована менее 15 лет назад. Это свидетельствует о том, что авторы используют актуальные исследования для поддержки своих аргументов.
2. **Объем цитируемых работ:** Общее количество цитируемых работ составляет 45, что говорит о тщательности исследовательского подхода авторов статьи. Широкий спектр цитируемых источников также указывает на всестороннее рассмотрение темы.
3. **Связь с Институтом инженеров электротехники и электроники (IEEE):** Значительное количество работ напрямую связаны с IEEE, что свидетельствует о значимости исследований в области биомедицинской инженерии и электроники. Это также подчеркивает авторитетность и научный статус цитируемых источников.

Таким образом, список литературы в статье является хорошо структурированным и разнообразным, что дает читателям достоверную и подробную информацию о предмете исследования.

Таблица “Качество литературы” представлена в приложении.

**8. КАЧЕСТВО ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА**

Авторы используют разнообразные наглядные материалы, такие как таблицы, графики и схемы, чтобы обогатить текст и помочь читателям лучше усвоить информацию. Эти изображения выполнены профессионально и ясно отображают данные, способствуя глубокому пониманию материала.

Некоторые примеры иллюстративного материала:

Рис. 1: Проверка углового восприятия, механических свойств и липкости, а также локализации вибротактильных стимулов.

Рис. 2: Стабильность и липкость электронной кожи при движении шеи, а также правильная скорость распознавания локализованных вибротактильных стимулов.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Результат исследования, представленного авторами, представляет собой инновационное решение в области мониторинга и коррекции положения шеи с использованием носимой электроники в форм-факторе электронной кожи (e-skin). Устройство обладает рядом преимуществ, таких как непрерывное мониторирование положения шеи, тактильная обратная связь для коррекции положения, а также возможность передачи данных на удаленный компьютер.

Однако, разработанное устройство имеет некоторые ограничения и недостатки, включая ограничения точности измерений, требования к замене клейких лент для крепления к коже, а также возможные влияния сторонних факторов на оценку положения шеи.

Тем не менее, результаты исследования представляют собой важный вклад в область здравоохранения и биомедицинской инженерии, поскольку устройство может быть полезным для контроля и коррекции положения шеи, что может снизить риск развития различных проблем с позвоночником и обеспечить лучшее благополучие для пользователей.

Дальнейшее развитие и улучшение устройства, а также его адаптация к различным потребностям и категориям пользователей, могут увеличить его ценность и практическую применимость в медицинской практике.

**ПРИЛОЖЕНИЕ**

| Название ссылки, источник | Возраст | Цитируемость | Квартиль |
| --- | --- | --- | --- |
| Alare, K., Omoniyo, T. & Adekanle, T. Postural predisposition to cervical spondylosis among housewives, teachers, computers and smart phones users. Int. J. Neurol. Phys. Ther. 7, 14–19 (2021). | 3 | 34 | 1 |
| Dubey, J., Kataria, J. & Rai, R. Effect of smart phone usage time on scapular position and respiratory function: a cross-sectional study. *J. Clin. Diagn. Res.* **16**, 8–11 (2022). | 2 | 1089 | 1 |
| Linbo, Z. & Lisheng, W. Association between excessive smartphone use and cervical disc degeneration in young patients suffering from chronic neck pain. J. Orthop. Sci. 26, 110–115, ISSN 0949-2658, 2020. | 4 | 12 | 3 |
| Yang, C. Y. & Wang, J. C. An unusual case of rapidly progressed cervical compression myelopathy caused by overnight inappropriate usage of Smartphone device. *J Clin. Neurosci.* **39**, 82–84 (2017). | 7 | 1 | - |
| Lee, S., Choi, Y. H. & Kim, J. Effects of the cervical flexion angle during smartphone use on muscle fatigue and pain in the cervical erector spinae and upper trapezius in normal adults in their 20s. *J. Phys. Ther. Sci.* **29**, 921–923 (2017). | 7 | 217 | 1 |
| Kong, Y. S., Kim, Y. M. & Shim, J. M. The effect of modified cervical exercise on smartphone users with forward head posture. *J. Phys. Ther. Sci.* **29**, 328–31 (2017). | 7 | 25 | 2 |
| Alizada, M., Li, R. R. & Hayatullah, G. Cervical instability in cervical spondylosis patients. *Orthopäde* **47**, 977–85 (2018). | 6 | 90 | 1 |
| Seong-Yeol, K. & Sung-Ja, K. Effect of duration of smartphone use on muscle fatigue and pain caused by forward head posture in adults. *J. Phys. Ther. Sci.* **28**, 1669–72 (2016). | 8 | - | - |
| Lv, Y., Tian, W. & Chen, D. et al. The prevalence and associated factors of symptomatic cervical Spondylosis in Chinese adults: a community-based cross-sectional study. *BMC Musculoskelet. Disord.* **19**, 325 (2018). | 6 | 352 | 1 |
| Xiong, W., Li, F. & Guan, H. Tetraplegia after thyroidectomy in a patient with cervical spondylosis: a case report and literature review. *Medicine* **94**, e524 (2015). | 9 | 48 | 1 |
| Youdas, J. W., Garrett, T. R., Suman, V. J., Bogard, C. L., Hallman, H. O. & Carey, J. R. Normal range of motion of the cervical spine: an initial goniometric study. *Phys. Ther.* **72**, 770–80 (1992). | 22 | 11 | 1 |
| Wang, C., Tian, F., Zhou, Y., He, W. & Cai, Z. The incidence of cervical spondylosis decreases with aging in the elderly, and increases with aging in the young and adult population: a hospital-based clinical analysis. *Clin. Interv. Aging* **11**, 47–53 (2016). | 8 | 563 | 1 |
| Kazeminasab, S., Nejadghaderi, S. A. & Amiri, P. et al. Neck pain: global epidemiology, trends and risk factors. *BMC Musculoskelet. Disord.* **23**, 26 (2022). | 2 | 216 | 1 |
| Yingying, W. et al. An intelligent wearable device for human’s cervical vertebra posture monitoring. In *Proc. 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, pp. 3280–3283, 2018. | 6 | 15 | 3 |
| Ahmed, S. B. & Qamar, A. et al. Cervical spondylosis; an inevitable but preventable catastrophe. *J. Bahria Univ. Med. Dent. Coll.* **9**, 237–42 (2019). | 5 | - | - |
| Hansraj, K. K. Assessment of stresses in the cervical spine caused by posture and position of the head. *Surg. Technol. Int.* **25**, 277–279 (2014). | 10 | - | - |
| Kang, G. E. & Gross, M. M. Concurrent validation of magnetic and inertial measurement units in estimating upper body posture during gait. *Measurement* **82**, 240–245 (2016). | 8 | 1 | 2 |
| Inokuchi, H. et al. Neck range of motion measurements using a new three-dimensional motion analysis system: validity and repeatability. *Eur. Spine J.* **24**, 2807–15 (2015). | 9 | - | - |
| Williams, M. A., McCarthy, C. J., Chorti, A., Cooke, M. W. & Gates, S. A systematic review of reliability and validity studies of methods for measuring active and passive cervical range of motion. *J. Manip. Physiol. Ther.* **33**, 138–155 (2010). | 14 | 86 | 1 |
| Li, S., Zhou, P., Xiao, W. & Zhou, G. A wearable system for cervical spondylosis prevention based on artificial intelligence. *Chin. J. Med. Instrum.* **44**, 33–37 (2020). | 4 | 302 | 1 |
| Jasiewicz, J. M. et al. Wireless orientation sensors: their suitability to measure head movement for neck pain assessment. *Man. Ther.* **12**, 380–385 (2007). | 17 | - | - |
| Ambusam, S. et al. Is a triaxial accelerometer a reliable device to measure head excursion? *Technol. Health Care Off. J. Eur. Soc. Eng. Med.* **23**, 691–697 (2015). | 9 | - | - |
| Jeong, S. et al. Human neck’s posture measurement using a 3-axis accelerometer sensor. Computational Science and Its Applications *- ICCSA 2011*, Springer Berlin Heidelberg, pp. 96–109, 2011. | 13 | 5 | 3 |
| Nguyen, M. T. et al. A method for estimating text neck while walking using a 3-axis accelerometer. In *Proc.* *International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks IEEE*, pp. 23–26, 2017. | 7 | 9 | 1 |
| Lee, S., Kang, H. & Shin, G. Head flexion angle while using a smartphone. *Ergonomics* **58**, 220–226 (2015). | 9 | 218 | 1 |
| Baek, J. H. & Yun, B. J. Posture monitoring system for context awareness in mobile computing. *IEEE Trans. Instrum. Meas.* **59**, 1589–99 (2010). | 14 | - | - |
| Gupta, H. Smartphone based cervical spine stress prevention. *J. Softw. Eng. Appl.* **11**, 110–20 (2018). | 6 | - | - |
| Breen, P. P., Nisar, A. & OLaighin, G. Evaluation of a single accelerometer-based biofeedback system for real-time correction of neck posture in computer users. In *Proc. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 7269–72, 2009. | 15 | 68 | 1 |
| Kumar, K.V.R. and Elias, S. Smart neck-band for rehabilitation of musculoskeletal disorders. In *Proc.* *International Conference on COMmunication Systems & NETworkS (COMSNETS)*, pp. 47–52, 2020. | 4 | 12 | 3 |
| Severin, I. C. Head posture monitor based on 3 IMU sensors: consideration toward healthcare application. In *Proc.* *International Conference on e-Health and Bioengineering (EHB)*, pp. 1–4, 2020. | 4 | 12 | 3 |
| Dunne, L.E., Walsh, P., Smyth, B. and Caulfield, B. Design and evaluation of a wearable optical sensor for monitoring seated spinal posture. In *Proc.* *10th IEEE International Symposium on Wearable Computers*, pp. 65–68, 2006. | 18 | 80 | 1 |
| Dunne, L. E., Walsh, P., Hermann, S., Smyth, B. & Caulfield, B. Wearable monitoring of seated spinal posture. *IEEE Trans. Biomed. Circ. Syst.* **2**, 97–105 (2008). | 16 | 281 | 1 |
| Guo, Y. R., Zhang, X. C. and An, N. Monitoring neck posture with flex sensors. In: *Proc. 9th International Conference on Information Science and Technology (ICIST)*, pp. 459–563, 2019. | 5 | 25 | 2 |
| Bramhapurikar, K., Prabhune, A., Chavan, S., Ghivela, G.C. and Sengupta, J. A wearable posture corrector device. In *Proc. 9th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, pp. 1–5, 2018. | 6 | 253 | 1 |
| Zaltieri, M. et al. An FBG-based smart wearable device for monitoring seated posture in video terminal workers. In *Proc.* *IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 & IoT*, pp. 713–717, 2020. | 4 | 12 | 3 |
| Niijima, A. Posture feedback system with wearable speaker. In *Proc.* *43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)*, pp. 7007–10, 2021. | 3 | 6 | 3 |
| Lawanont, W. Mongkolnam, P. and Nukoolkit, C. Smartphone posture monitoring system to prevent unhealthy neck postures. In Proc. *12th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE)*, Songkhla, 22–24 July, pp. 331–336, 2015. | 9 | - | - |
| Lee, H., Choi, Y., Lee, S. and Shim, E. Smart pose: mobile posture-aware system for lowering physical health risk of smartphone users. *CHI ‘13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, Paris, April 27–May 2 2013, pp. 2257–66, 2013. | 11 | 414 | 1 |
| Elnaffar, S. and Allam, A.E. An app approach to correcting the posture of smartphone users. In *Proc.* *Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)*, pp. 1–4, 2018. | 6 | 15 | 3 |
| Suwimol, S., Pisit, T., Anchalee, A., Narisorn, K. & Jureeporn, J. et al. Neck circumference as a screening measure for identifying NAFLD among a group of academic employees in Bangkok, Thailand. *PLOS One* **17**, e0263826 (2022). | 2 | 247 | 1 |
| Maiti, R., Gerhardt, L. C., Lee, S. Z., Byers, R. A., Woods, D., Sanz-Herrera, J. A. & Carré, M. J. In vivo measurement of skin surface strain and sub-surface layer deformation induced by natural tissue stretching. *J. Mech. Behav. Biomed. Mater.* **62**, 556–69 (2016). | 8 | 248 | 1 |
| Nemeth, K. J. Ankrum, D. R. Head and neck posture at computer workstation-what’s neutral? *Presented at 4th Triennial Congress of International Ergonomics Association*, 2000. | 24 | 9 | 1 |
| Yu, X., Xie, Z. & Yu, Y. et al. Skin-integrated wireless haptic interfaces for virtual and augmented reality. *Nature* **575**, 473–479 (2019). | 5 | 124 | 1 |
| Choi, S. & Kuchenbecker, K. J. Vibrotactile display: perception, technology, and applications. *Proc. IEEE* **101**, 2093–104 (2013). | 11 | 1095 | 1 |
| Culbertson, H., Schorr, S. B. & Okamura, A. M. Haptics: the present and future of artificial touch sensation. *Annu. Rev. Control, Robot. Autonomous Syst.* **1**, 385–409 (2018). | 6 | 377 | 1 |