

Научная статья  
УДК 004.932.72'1  
ББК 32.813.52  
Р 17  
DOI: 10.53598/2410-3225-2023-2-321-47-54

**Разработка программно-аппаратного комплекса для диагностики  
мышц лица у людей с детским церебральным параличом**  
(Рецензирована)

**Альфира Менлигуловна Кумратова<sup>1</sup>, Дарья Александровна Замотайлова<sup>2</sup>,  
Кирилл Денисович Лещенко<sup>3</sup>, Егор Юрьевич Болотов<sup>4</sup>,  
Никита Анатольевич Довгаль<sup>5</sup>**

<sup>1-5</sup> Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина,  
Краснодар, Россия

<sup>1</sup> kumratova.a@edu.kubsau.ru

<sup>2</sup> zamotajlova.d@edu.kubsau.ru

<sup>3</sup> leshchenko.k@edu.kubsau.ru

<sup>4</sup> egorbolotov01@mail.ru

<sup>5</sup> nikitadovgalkubsau@yandex.ru

**Аннотация.** Цель данного проекта заключается в разработке комплекса программно-аппаратного обеспечения для выявления проблемных зон в мышцах речевого аппарата. Это позволит преобразовать массаж, направленный на расслабление этих зон, в более точечный и эффективный. Реализация данного проекта приведет к снижению влияния фактора человеческого фактора на результаты диагностики, упрощению процесса диагностики и, как следствие, улучшению речевых функций и социализации человека в обществе. Для выявления проблемных зон в мышцах речевого аппарата была разработана концепция программного обеспечения с использованием искусственного интеллекта и нейронных сетей, а также аппаратного диагностического комплекса.

**Ключевые слова:** диагностика спазмированных мышц лица, детский церебральный паралич, искусственный интеллект, аппаратный диагностический комплекс

Original Research Paper

**Development of hardware and software complex for diagnosing  
facial muscles in people with infantile cerebral palsy**

**Alfira M. Kumratova<sup>1</sup>, Darya A. Zamotaylova<sup>2</sup>, Kirill D. Leshchenko<sup>3</sup>,  
Egor Yu. Bolotov<sup>4</sup>, Nikita A. Dovgal<sup>5</sup>**

<sup>1-5</sup> Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia

<sup>1</sup> kumratova.a@edu.kubsau.ru

<sup>2</sup> zamotajlova.d@edu.kubsau.ru

<sup>3</sup> leshchenko.k@edu.kubsau.ru

<sup>4</sup> egorbolotov01@mail.ru

<sup>5</sup> nikitadovgalkubsau@yandex.ru

**Abstract.** The aim of the project is to develop a set of hardware and software to identify problems in the muscles of the speech apparatus, which will allow to transform a massage aimed at relaxing these zones into a more targeted and effective one. The implementation of this project will reduce the influence of the human factor on diagnostic results, simplify the diagnostic process and, as a result, improve speech functions and socialization of a person in society. The authors provide a software

*concept with the use of artificial intelligence and neural networks, as well as a hardware diagnostic complex.*

**Keywords:** *diagnostics of spasmodic facial muscles, infantile cerebral palsy, artificial intelligence, hardware diagnostic complex*

Актуальность проекта подтверждается данными Росстата о количестве детей-инвалидов и проблемах социализации у людей с ДЦП, о которых сообщают средства массовой информации [1].

ДЦП (детский церебральный паралич) – это группа расстройств, которые могут повлиять на развитие и координацию движений у детей. Это неврологическое расстройство происходит из-за повреждения мозга в раннем возрасте, которое может произойти во время беременности, во время родов или в первые годы жизни ребенка.

ДЦП может повлиять на мышечный тонус, что может привести к изменениям в мышцах лица. Один из наиболее распространенных типов ДЦП – спастический тип – вызывает повышенный мышечный тонус, что означает, что мышцы лица становятся напряженными и сокращаются сильнее, чем нужно для выполнения обычных движений.

Это часто приводит к тому, что ребенок с ДЦП может выглядеть так, как будто его лицевые мышцы всегда напряжены. Например, у него бывает постоянное косоглазие, поскольку мышцы глаза не могут нормально скоординироваться, чтобы смотреть в одном направлении. Кроме того, у ребенка может быть застывшее выражение лица, поскольку мышцы лица постоянно напряжены.

Реализация представленного проекта способствует развитию персонализированной медицины, высокотехнологичного здравоохранения и здоровьесбережения, включая эффективное использование лекарственных препаратов, в том числе антибактериальных. Это соответствует приоритетному направлению развития науки и технологий в России, изложенному в Указе Президента РФ от 01.12.2016 № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации». Вопросам применения инструментальных средств и разработки новых программ при работе с инвалидами посвящены труды отечественных ученых: О.В. Жилиндина, О.В. Крахмалева [2], Е.А. Косова [3], О.Н. Гринюк, Н.В. Маслова, М.М. Астахова [4] и других.

Существует несколько методов диагностики мышц лица у людей с ДЦП [5]. Они могут включать в себя следующее:

– Оценка внешнего вида. Врач может проводить визуальную оценку лица, чтобы определить наличие застывшего выражения лица, косоглазия, неравномерной улыбки и других признаков, связанных с изменениями мышечного тонуса [5];

– Электромиография (ЭМГ). ЭМГ – это метод, который позволяет измерить электрическую активность мышц. Врач может использовать ЭМГ, чтобы измерить электрическую активность мышц лица во время различных движений для определения уровня мышечной активности и координации [5];

– Компьютерная томография (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ). КТ и МРТ – это методы, которые позволяют создать изображения внутренних органов и тканей. Врач может использовать КТ или МРТ, чтобы изучить мышцы лица и нервную систему для определения наличия изменений и повреждений [5];

– Ультразвуковая диагностика. Ультразвуковая диагностика – это метод, который использует ультразвуковые волны для создания изображений внутренних органов и тканей. Врач может использовать ультразвуковую диагностику, чтобы изучить мышцы лица и нервную систему для определения наличия изменений и повреждений [5].

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что существующие методы лечения детей с ДЦП включают в себя ручные или полуавтоматизированные методы, которые часто требуют длительных курсов и могут быть крайне болезненными для де-

тей [4–7]. Однако с целью помощи детям с ДЦП в социализации в обществе медицинские специалисты нуждаются в инновационных и качественных подходах к лечению, таких как программно-аппаратный комплекс (ПАК).

Представленный комплекс включает в себя аппаратную и программную части [8–10]. Аппаратная часть позволяет получить данные о тоне мышц человека с помощью специальных датчиков мышечного сигнала (в дальнейшем после дополнительных консультаций с медицинскими специалистами могут быть добавлены датчики с дополнительной функциональностью). Эти данные затем передаются в программную часть, которая использует алгоритмы искусственного интеллекта (ИИ) для анализа при помощи визуализации данных в виде графиков и диаграмм и позволяет наглядно видеть реальное состояние мышечной мускулатуры лица. Более того, на основе этих данных, на физической модели лица можно отобразить поврежденную мышцу, что поможет медицинским специалистам более точно диагностировать и лечить мышечный тонус лица у пациентов.

*Основные функции комплекса включают в себя:*

Аппаратная часть:

- снятие данных о тоне мышц;
- передача их в базу данных.

Программная часть:

- взятие данных из базы данных;
- просмотр пациентов;
- внесение личных данных;
- поиск по пациентам;
- сама диагностика.

*Состав ПАК:*

Аппаратная часть включает в себя:

- электронный блок управления;
- источник направленного лазерного излучения;
- фотоприемники;
- регуляторы чувствительности;
- USB-канал связи с персональным компьютером;
- видеокамера;
- персональный компьютер.

*Программная часть:*

- программное обеспечение (ПО);
- база данных.

ПО разработано на языке JavaScript (JS). JS – это высокоуровневый язык программирования, который широко используется для создания веб-приложений и веб-сайтов. JS является частью стандарта HTML5 и может быть исполнен на стороне клиента (браузер) и на стороне сервера (Node.js).

Существует множество инструментов и библиотек для разработки приложений на JS, таких как AngularJS, React, Vue.js, jQuery и многие другие.

JS также используется для создания различных приложений вне веб-среды, таких как мобильные приложения, десктопные приложения и игры.

ПО на JS имеет множество преимуществ, таких как возможность быстрой разработки, высокая скорость выполнения, поддержка большого числа инструментов и библиотек, а также открытый и доступный код, который позволяет создавать расширения и дополнения для различных задач.

Кроме того, JS имеет высокую степень совместимости с другими языками про-

граммирования, такими как HTML и CSS, что позволяет создавать качественные и сложные приложения с использованием различных технологий.

База данных MongoDB была выбрана для хранения данных, собранных комплексом диагностики мышц лица в связи с ее высокой масштабируемостью и гибкостью в работе с неструктурированными данными. Это позволяет быстро адаптироваться к изменяющимся потребностям и требованиям клиентов.

MongoDB является документно-ориентированной базой данных, что означает, что она хранит данные в виде документов, а не в виде таблиц с жестко заданными полями, как это делается в реляционных базах данных. Это позволяет легко изменять структуру данных, добавлять и удалять поля в документах, а также быстро извлекать информацию из документов, не теряя время на объединение таблиц и связей между ними.

Использование базы данных также обеспечивает высокую производительность и масштабируемость базы данных. Она позволяет горизонтальное масштабирование, что означает, что можно добавлять новые серверы для хранения данных и обработки запросов при увеличении нагрузки на систему.

На рисунках 1–4 представлены экранные формы разработанного приложения.

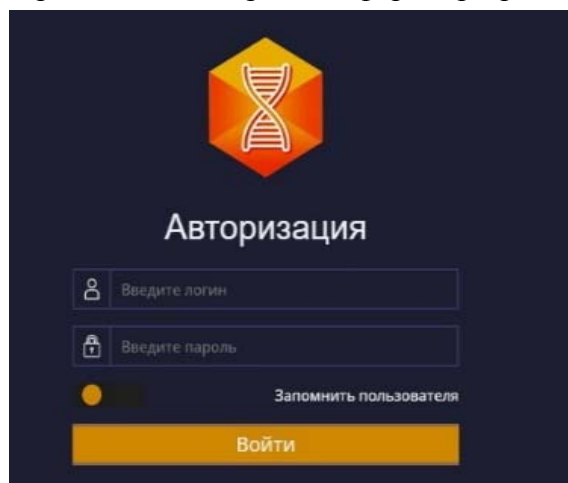


Рис. 1. Авторизация в программно-аппаратном комплексе

Fig. 1. Authorization in the hardware-software complex

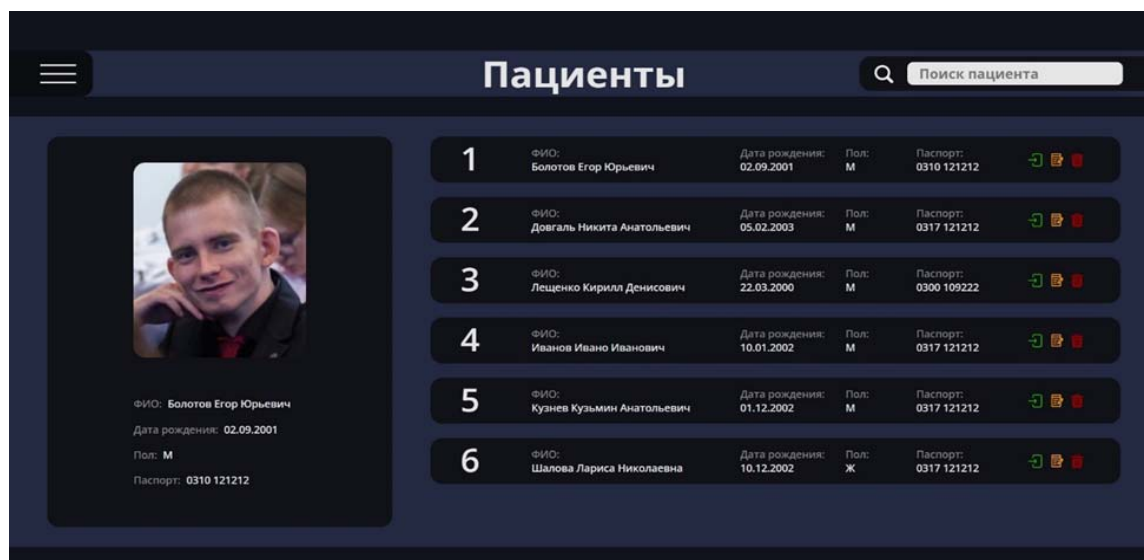


Рис. 2. Экранная форма справочника «Пациенты»

Fig. 2. On-screen form of the directory “Patients”

Для визуализации данных используются графики и диаграммы, которые наглядно отображают реальное состояние мышечной мускулатуры лица и позволяют медицинскому персоналу проанализировать информацию и вынести диагноз. Например, диаграмма, представленная в разделе «Статистика» справочника «Личное дело», отображает процент мышц лица пациента с состояния «Спазм», «Тонус» и «Рефлекторность».



Рис. 3. Экранная форма справочника «Личное дело»

Fig. 3. On-screen form of the directory “Personal file”

Кроме того, на основе полученных данных можно создавать физические модели лица, которые позволяют более детально изучить степень повреждения мышц и разработать индивидуальный план лечения для пациента.

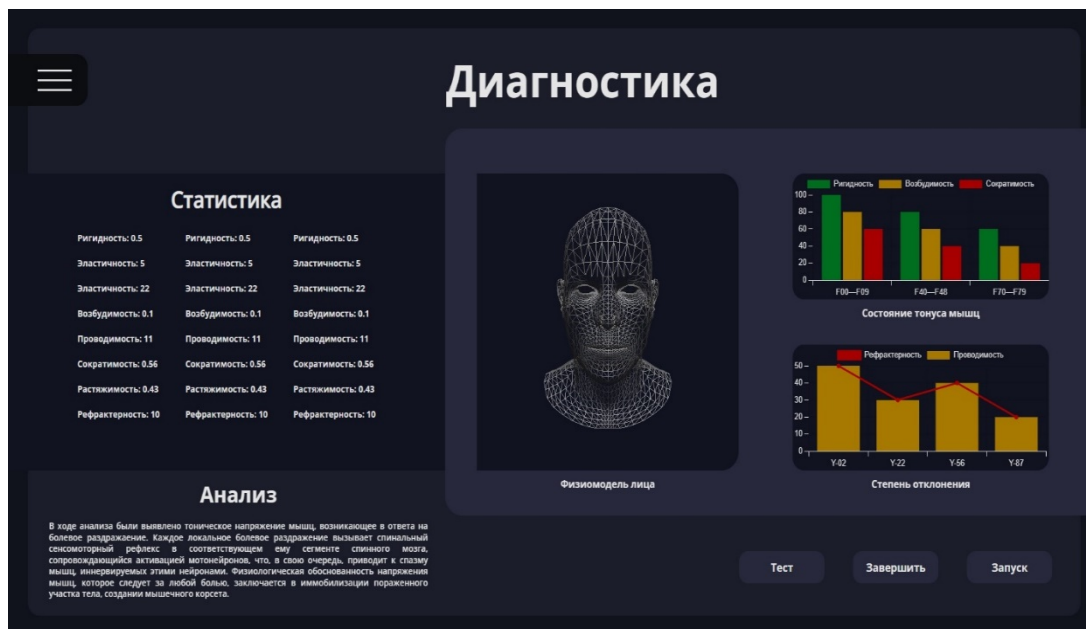


Рис. 4. Экранная форма справочника «Диагностика»

Fig. 4. On-screen form of the directory “Diagnostics”

В ходе исследования были выполнены следующие пункты:

- проведен анализ известных устройств для диагностики тонуса мышц у детей (Шлем Маска, логопедический массаж, электромиография и др.);
- собран прототип;

- проведена проверка работоспособности ПАК на добровольцах;
- разработано полноценное приложение.

Прототип программно-аппаратного комплекса был разработан и протестирован, и хотя его работоспособность была частичной из-за некоторых проблем, включая погрешности в приеме оптического сигнала и внешние помехи, он все же может быть полезен как система подтверждения врачебного диагноза. Дальнейшая работа включает в себя доработку технических характеристик устройства и оптимизацию программного обеспечения для повышения точности и надежности его работы.

Преимущества разработанного комплекса включают:

- Неинвазивность: при использовании разработанного комплекса нет необходимости проводить инъекции или проводить какие-либо другие вмешательства в организм пациента;
- Оперативность: результаты диагностики могут быть получены быстро и без большого количества времени на подготовку;
- Высокая точность: использование датчиков и алгоритмов ИИ позволяет получать высокоточные данные о состоянии мышечной мускулатуры лица;

Однако у разработанного комплекса есть и недостатки:

- Низкая степень разработки: на данный момент разработанный комплекс является только прототипом и требует дополнительной разработки для достижения полной функциональности;
- Необходимость калибровки: для корректной работы устройства необходимо проводить калибровку, что может занимать определенное количество времени;
- Влияние внешних факторов: внешние факторы, такие как освещение, могут оказывать влияние на точность данных, полученных с помощью устройства.

Для оценки эффективности ПАК необходимо проводить клинические испытания, сравнивая результаты диагностики при использовании разных методов у большого числа пациентов с ДЦП. При этом необходимо учитывать такие факторы, как точность диагностики, время, затраченное на диагностику, доступность и удобство использования метода, стоимость, а также возможность получения дополнительной информации о состоянии мышц лица, такой как измерение силы мышц, и другие параметры.

В целом, если разработанный комплекс обладает высокой точностью диагностики, доступностью и удобством использования, а также дает возможность получения дополнительной информации о состоянии мышц лица, то он может быть более эффективным методом диагностики по сравнению с другими методами.

На основании проведенного анализа преимуществ и недостатков комплекса, а также результатов сравнения с другими методами диагностики мышц лица у людей с ДЦП, можно предложить следующие рекомендации по дальнейшей разработке и улучшению комплекса:

- улучшение точности измерений;
- для повышения точности измерений необходимо проводить более тщательную калибровку устройства и уменьшить воздействие внешних помех на оптические датчики. Можно также рассмотреть возможность использования более чувствительных датчиков;
- разработка новых алгоритмов обработки данных;
- необходимо разработать более эффективные алгоритмы обработки данных, чтобы уменьшить количество ложных срабатываний и повысить точность диагностики;
- улучшение удобства использования;
- комплекс может быть сделан более компактным и портативным, чтобы упростить его транспортировку и использование в различных условиях;

– интеграция с другими методами диагностики. Комплекс может быть интегрирован с другими методами диагностики, например, электромиографией, для получения более полной картины состояния мышц лица;

– проведение более широких клинических исследований. Для подтверждения эффективности комплекса необходимо провести более широкие клинические исследования, в которых участвовало бы большее количество пациентов.

В заключение можно сказать, что разработка программно-аппаратного комплекса для диагностики мышц лица у людей с детским церебральным параличом является актуальной проблемой в медицине. В результате нашего исследования был разработан прототип, который демонстрирует работоспособность и может использоваться в качестве системы подтверждения врачебного диагноза.

Преимуществом разработанного комплекса является возможность получения точных данных о состоянии мышечной мускулатуры лица, а также наглядная визуализация этих данных в виде графиков и диаграмм. Также следует отметить, что данный метод диагностики менее инвазивен и болезненней, чем существующие методы, которые используются в настоящее время.

Однако, несмотря на преимущества, прототип комплекса все еще имеет некоторые недостатки, такие как погрешности при приеме отраженного оптического сигнала и возможные помехи от внешних источников освещения. Для устранения этих недостатков необходимо проводить дальнейшую работу по оптимизации аппаратной части и алгоритмов обработки данных, а также увеличить точность калибровки устройства.

Таким образом, разработка комплекса является важным шагом в области диагностики мышц лица у людей с ДЦП и может помочь в дальнейшем лечении и реабилитации пациентов. Рекомендуется проводить дальнейшие исследования и улучшения комплекса для повышения его точности и эффективности.

### Примечания

1. Красильникова Р.Г., Усакова Н.А. Методы физической терапии в лечении детских церебральных параличей. Москва: Спорт, 2020. 176 с.

2. Жилиндина О.В., Крахмалева О.В. Разработка программного продукта для автоматизации выбора технических средств реабилитации инвалидов // Проблемы современной науки и образования. 2019. № 6 (139). С. 56–60.

3. Косова Е.А. Разработка прикладных программных средств учебного назначения для детей с нарушением зрения // Новые компьютерные технологии. 2012. Т. 10, № 1 (10). С. 229–231.

4. Разработка электронного образовательного ресурса для развития речи детей с ДЦП / О.Н. Гринюк, Н.В. Маслова, М.М. Астахова [и др.] // Вестник Международной академии системных исследований. Информатика, экология, экономика. 2016. Т. 18, № 1. С. 142–147.

5. Физическая и реабилитационная медицина при церебральном параличе у детей. Национальное руководство. Часть II / под ред. Т.Т. Батышевой. Москва, 2021. 308 с.

6. Григорьева Н.В., Меркулова Т.В. Детский церебральный паралич: диагностика, лечение, реабилитация. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2018. 240 с.

7. Балашова О.В., Мешкова Е.А., Спиваков А.А. Детский церебральный паралич: современные технологии диагностики и лечения. Москва: Медицина, 2018. 336 с.

8. Мясищев В.Н., Пиняскина Е.М., Лазарева Н.И. Детский церебральный паралич: руководство для врачей. Москва: Медицинское информационное агентство, 2020. 288 с.

9. Гниденко И.Г., Павлов Ф.Ф., Федоров Д.Ю. Технология разработки программного обеспечения: учеб. пособие для СПО. Москва: Юрайт, 2017. 235 с.

10. Гордеев С.И., Волошина В.Н. Организация баз данных: в 2 ч.: учебник для вузов. 2-е изд., испр. и доп. Москва: Юрайт, 2019. Ч. 2. 501 с.

11. Жмудь В.А. Моделирование замкнутых систем автоматического управления: учеб. пособие для академического бакалавриата. 2-е изд., испр. и доп. Москва: Юрайт, 2019. 128 с.

## References

1. Krasilnikova R.G., Usakova N.A. Methods of physical therapy in the treatment of cerebral palsy. Moscow: Sport, 2020. 176 p.
2. Zhilindina O.V., Krakhmaleva O.V. Development of a software product for automating the selection of technical means of rehabilitation of disabled people // Problems of Modern Science and Education. 2019. No. 6 (139). P. 56–60.
3. Kosova E.A. Development of applied software for educational purposes for children with visual impairment // New Computer Technologies. 2012. Vol. 10, No. 1 (10). P. 229–231.
4. Development of an electronic educational resource for the speech development of children with cerebral palsy / O.N. Grinyuk, N.V. Maslova, M.M. Astakhova [et al] // Bulletin of the International Academy of System Research. Computer Science, Ecology, Economics. 2016. Vol. 18, No. 1. P. 142–147.
5. Physical and rehabilitation medicine for cerebral palsy in children. National leadership. Part II / ed. by T.T. Batysheva. Moscow, 2021. 308 p.
6. Grigoryeva N.V., Merkulova T.V. Cerebral palsy: diagnosis, treatment, rehabilitation. Moscow: GEOTAR-Media, 2018. 240 p.
7. Balashova O.V., Meshkova E.A., Spivakov A.A. Cerebral palsy: modern technologies of diagnosis and treatment. Moscow: Medicine, 2018. 336 p.
8. Myasishchev V.N., Pinyaskina E.M., Lazareva N.I. Cerebral palsy: a guide for doctors. Moscow: Medical Information Agency, 2020. 288 p.
9. Gnidenko I.G., Pavlov F.F., Fedorov D.Yu. Technology of software development: a manual for SPO. Moscow: Urait, 2017. 235 p.
10. Gordeev S.I., Voloshina V.N. Organization of databases: in 2 parts: a textbook for universities. 2<sup>nd</sup> ed., reviewed and enlarged. Moscow: Urait, 2019. Part 2. 501 p.
11. Zhmud V.A. Modeling of closed automatic control systems: a manual for academic bachelor's degree. 2<sup>nd</sup> ed., reviewed and enlarged. Moscow: Urait, 2019. 128 p.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 13.04.2023; одобрена после рецензирования 10.05.2023; принята к публикации 11.05.2023.*

*The article was submitted 13.04.2023; approved after reviewing 10.05.2023; accepted for publication 11.05.2023.*

© А.М. Кумратова, Д.А. Замотайлова, К.Д. Лещенко,  
Е.Ю. Болотов, Н.А. Довгаль, 2023