

УДК 51-76

DOI: [10.26102/2310-6018/2022.37.2.015](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2022.37.2.015)

Разработка веб-приложения для определения биологического возраста по функциональным показателям

А.О. Зотов¹, О.В. Лимановская^{1,2,3}✉, И.В. Гаврилов^{2,3}, В.Н. Мещанинов^{2,3}

¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Екатеринбург, Российская Федерация

²Уральский государственный медицинский университет Министерства
здравоохранения Российской Федерации, Екатеринбург, Российская Федерация

³«Центр специализированных видов медицинской помощи «Институт медицинских
клеточных технологий», Екатеринбург, Российская Федерация
o.v.limanovskaia@urfu.ru✉

Резюме. Скорость старения является комплексным показателем состояния здоровья человека, зависящим от множества факторов, которые включают в себя внешние и внутренние воздействия на организм (болезнь и процессы ее коррекции), что находит отражение в медико-биологических показателях организма (функциональных, биохимических, гематологических и прочих). Для определения скорости старения широко используется понятие биовозраста, который представляет собой комплексный параметр, основанный на определении степени постарения (износа, повреждения) организма человека на основе его медико-биологических параметров. В статье представлена разработка клиент-серверного веб приложения для определения биовозраста пользователя на основе его функциональных показателей – систолическом артериальном давлении, диастолическом артериальном давлении, времени задержки дыхания на вдохе, времени задержки дыхания на выдохе, величине жизненной емкости легких, остроте слуха, состоянии аккомодации хрусталика глаза, времени статической балансировки, массы тела, роста. Веб-приложение позволяет врачам и администраторам определять биовозраст пациента на основе введенных в приложении функциональных данных пользователя, учитывая влияние геропрофилактической терапии. Веб-приложение отображает данные в виде списка и графика и позволяет отправлять отчеты на электронную почту пациента, а также выгружать их. Серверная часть приложения выполнена на языке программирования C# и фреймворке ASP.NET. Клиентская часть приложения выполнена на языке программирования TypeScript и фреймворке React с применением библиотеки компонентов пользовательского интерфейса Antd. В качестве базы данных используется PostgreSQL. В качестве модуля прогнозирования биологического возраста используется ранее разработанная математическая модель, обученная на выборке данных объемом 650 записей и имеющая точность в 5,87 лет. Возможность прогнозирования биовозраста пациента с учетом длительности и типа геопрофилактического воздействия позволяет использовать разработанное приложение в качестве инструмента для выявления ведущего механизма старения пациента.

Ключевые слова: биовозраст, биологический возраст, механизмы старения, веб-приложение для определения биовозраста, машинное обучение в медицине.

Благодарности: Работа выполнена частично в рамках и при поддержке государственного задания Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения Министерства здравоохранения Российской Федерации, тема: "Индивидуализация подбора комплексной геропрофилактической терапии", номер исследования 121030900298-9.

Для цитирования: Зотов А.О., Лимановская О.В., Гаврилов И.В., Мещанинов В.Н. Разработка веб-приложения для определения биологического возраста по функциональным показателям. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2022;10(2). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1177> DOI: 10.26102/2310-6018/2022.37.2.015

Development of a web-application to predict biological age by functional indicators

A.O. Zotov¹, O.V. Limanovskaya^{1,2,3}✉, I.V. Gavrilov^{2,3}, V.N. Meshchaninov^{2,3}

¹Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russian Federation

²Ural State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Ekaterinburg, Russian Federation

³Specialized Medical Care Center of Medical Cell Technology Institute, Ekaterinburg, Russian Federation
o.v.limanovskaia@urfu.ru✉

Abstract. The rate of aging is a complex indicator of human health which depends on many factors that include external and internal effects on the body (disease and its correction processes), which is reflected in the biomedical indicators of the body (functional, biochemical, hematological and others). To determine the rate of aging, the concept of bio-age is widely used, which is a complex parameter based on ascertaining the degree of human body aging (wear, damage) in reliance on its biomedical parameters. This article presents the development of a client-server web-application for determining the bio-age of a user by evaluating their functional indicators - systolic blood pressure, diastolic blood pressure, breathing delay time on inhalation, breathing delay time on exhalation, the value of lungs vital capacity, hearing acuity, the state of eye lens accommodation, static balancing time, body weight, height. The web-application allows doctors and administrators to determine the patient's bio-age, drawing on the user's functional data entered in the application, taking into account the influence of geroprophylactic therapy. The web-application displays data in the form of a list and a graph and enables one to send reports to the patient's email and to upload them. The server part of the application is written in the C# programming language and ASP.NET framework. The TypeScript programming language and the React framework with the Antd user interface component library were employed to design the client part of the application. PostgreSQL is utilized as a database. As a module for predicting biological age, a previously developed mathematical model, trained on a data sample of 650 records and having an accuracy of 5.87 years, is applied. The ability to predict the patient's bio-age with consideration to the duration and a type of geoprophylactic exposure makes the developed application a suitable tool to identify the leading mechanism of a patient's aging.

Keywords: bio-age, biological age, aging mechanisms, web-application for determining bio-age, machine learning in medicine.

Acknowledgments: The research was partially carried out under and with the support of the state task of the Federal State Budgetary Educational Institution of the Ministry of Health of the Russian Federation, subject: "Individualization of the selection of complex geroprophylactic therapy", research number 121030900298-9.

For citation: Zotov A.O., Limanovskaya O.V., Gavrilov I.V., Meshchaninov V.N. Development of a web-application to predict biological age by functional indicators. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2022;10(2). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1177> DOI: 10.26102/2310-6018/2022.37.2.015 (In Russ.).

Введение

Процесс старения является сложным комплексным явлением и его скорость зависит от множества факторов, включающих в себя как внешние условия жизни, так и внутренние процессы организма, отражающиеся в индивидуальных медико-биологических показателях. Календарный возраст человека, как правило, лишь соответствует направленности возрастных изменений в организме, но не учитывает индивидуальный темп и динамику старения [3]. В то же время для оценки степени

реальных возрастных изменений в организме человека широко используется понятие биологический возраст, определяемый на основе ряда биологических параметров, таких как клинические, функциональные или генетические данные человека [1]. Отличие хронологического возраста от биологического позволяет оценить состояние организма человека. Значимое различие хронологического и биологического возрастов человека может говорить о текущих и будущих проблемах со здоровьем [4]. Динамика изменения отличия биологического возраста от хронологического может дать понимание роли воздействия болезни или терапии на организм, скорости возрастных изменений. Учет оценки биологического возраста при разработке методик лечения или профилактики болезни может повысить их эффективность. Таким образом, контроль биологического возраста и своевременное принятие соответствующих мер замедляют процесс старения [3], что позволяет повысить продолжительность жизни.

В настоящее время приложения, реализующие оценку биологического возраста, можно разделить на два больших типа. Приложения первого типа оценивают биовозраст по уровню двигательной активности пользователя и являются скорее фитнес-приложениями, чем инструментариями для клинической оценки [5-6]. Приложения второго типа имеют в своем функционале возможность оценивать биовозраст, исходя из клинических данных пользователя. Так, приложение Young.AI [7] позволяет определить биовозраст пользователя на основе биохимических показателей крови. В основе работы приложения используется модель, построенная на базе данных биохимических показателей крови более 60000 человек, работающая с точностью предсказания в 6 лет на хронологическом отрезке в 10 лет, то есть прогностическая оценка возраста на данных пациентов могла отклоняться от календарного возраста не более, чем на 10 лет для принятия ее корректной. Модель построена на использовании ансамбля полносвязных нейронных сетей. В качестве данных использовались открытые анонимные данные анализов пациентов сети клиник Invitro, не применяя разделения пациентов по их состоянию здоровья и не имея данных о соотношении этих пациентов в выборке. При таком подходе сложно разделить ошибку модели в определении биовозраста и реальное отклонение биовозраста от календарного возраста пациента, поскольку при использовании общей базы данных как практически здоровых лиц, так и пациентов с патологией, разница в биологическом и календарном возрасте которых существенно различаются между собой, в ошибку модели будет включено реальное отличие биологического и календарного возраста пациентов. Поэтому применение этого приложения в клинической практике будет давать очень приблизительные результаты, на основе которых сложно делать клинические заключения. Таким образом, задача разработки клинического приложения для определения биовозраста остается актуальной.

Данная работа посвящена разработке веб-приложения клинического характера для определения биологического возраста пациентов с возможностями оценки результатов геропрофилактического воздействия, оказываемого на пациентов.

Материалы и методы

Модуль прогнозирования биологического возраста. Ранее, в рамках работы [2] разработана модель случайного леса для прогнозирования биологического возраста, в которой в качестве биомаркеров используются значения функциональных параметров пациента. Модель обучена на данных из медицинской организации ГАУЗ СО «СОКП Госпиталь для ветеранов войн» и ГАУЗ СО «Институт медицинских клеточных технологий» за 1995-2014 гг. и нацелена на прогнозирование биологического возраста пациентов. Минимальная средняя абсолютная ошибка модели составляет 5,87 лет, $R^2 =$

0,75, то есть среднеквадратичная ошибка оценки возраста пациентов в модели составляла 5,87 лет и не вводилось ограничений для отклонений в прогнозе возраста пациента.

В качестве биомаркеров старения использовались следующие функциональные параметры организма:

- АДС – артериальное давление систолическое в мм рт. ст.;
- АДД – артериальное давление диастолическое в мм рт. ст.;
- АДП – разность между систолическим и диастолическим давлением в мм рт. ст.;
- ЗДВдох – задержка дыхания на вдохе в секундах;
- ЗДВывдох – задержка дыхания на выдохе в секундах;
- ЖЕЛ – жизненная емкость легких в мл;
- масса – масса тела в кг;
- аккомодация хрусталика глаза в диоптриях;
- острота слуха в децибелах;
- статическая балансировка в секундах;
- рост в см.

Общая архитектура. Архитектура веб-приложения построена согласно клиент-серверной модели, где клиентская и серверная части веб-приложения взаимодействуют по протоколу HTTP, согласно принципам RESTful API [8]. Авторизация производится с помощью JWT, хранимого в cookies браузера. Взаимодействие клиентской и серверной частей производится через веб-сервер Nginx, он позволяет отдавать пользователю статический контент клиентской части и используется как reverse-проxy для сервисов, работающих на сервере. На Рисунке 1 приведена диаграмма компонентов всей системы.

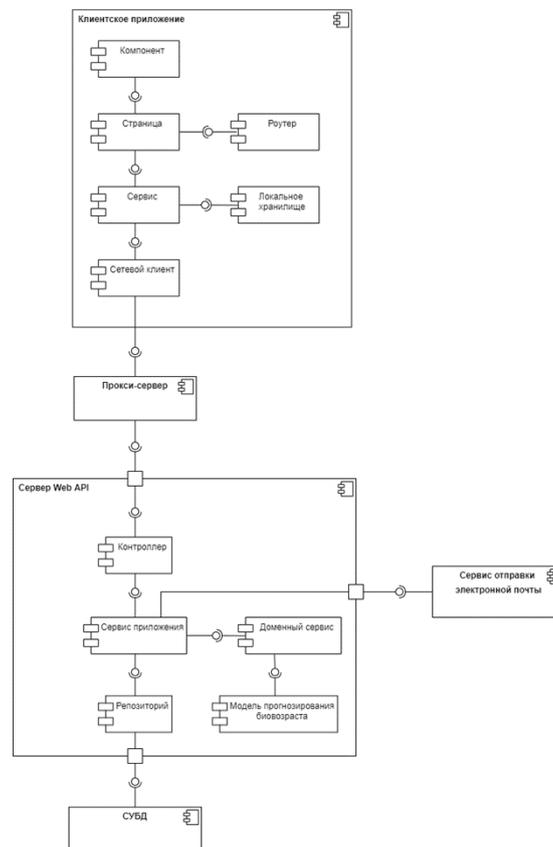


Рисунок 1 – Диаграмма компонентов веб-приложения
Figure 1 – Component diagram of the web-application

Серверная часть. Архитектура серверной части построена согласно паттерну Onion [9]. В доменном ядре расположены модели сущностей, таких как измерение биовозраста или воздействие, также в ядре расположены доменные сервисы, например, сервис прогнозирования биологического возраста. На уровне приложения определены сущности уровня приложения, которые валидируются и конвертируются в доменные сущности, производятся CRUD операции с репозиториями доменных сущностей и работа с доменными сервисами. На уровне интерфейса происходит работа с сетью по протоколу HTTP, авторизация и работа с сервисами уровня приложения.

Серверная часть реализована на платформе NET 6 и языке программирования C# [10]. Для построения Web API применен фреймворк ASP.NET. Для хранения данных используется СУБД PostgreSQL [11]. Для взаимодействия объектно-ориентированной модели с СУБД применяется Entity Framework [12]. Для обеспечения совместимости математической модели прогнозирования биовозраста, разработанной на языке программирования Python, она была приведена в формат ONNX [13], который позволяет использовать модель машинного обучения на различных платформах. Для отправки электронной почты используется сервис Send Grid, он позволяет формировать электронные письма согласно заранее заданным шаблонам, отправлять их и контролировать их доставку. Для создания отчетов в формате pdf и xlsx используются библиотеки PdfSharp и NPOI соответственно. Для построения графика, вложенного в отчет, используется библиотека OxyPlot.

Клиентская часть. Клиентская часть представляет собой одностраничное приложение (SPA). При первом запросе к веб-приложению загружается весь код клиентской части, который исполняется браузером, далее необходимые данные загружаются через Web API серверной части. Такой подход позволяет веб-приложению быстрее работать и меньше нагружает серверную часть, однако, при запуске приложения требуется больше времени на загрузку [14]. Клиентская часть разработана на языке программирования TypeScript [15] с применением фреймворка React [16] и библиотеки компонентов интерфейса Antd. Для реализации сетевого взаимодействия с серверной частью используется библиотека Axios. Клиентская часть состоит из компонентов, которые представляют собой элементы интерфейса, эти компоненты объединяются в формы для работы с данными и компоненты представления данных. Формы и компоненты представления данных компонуются в страницы, для перехода между страницами используется роутер. При взаимодействии с компонентами активируются соответствующие привязанные к ним сервисы, которые взаимодействуют с Web API серверной части и локальным хранилищем данных [17]. На Рисунке 1 приведена диаграмма компонентов клиентской части.

Вспомогательный инструментарий. На основе сервиса Azure DevOps [17] настроен конвейер для непрерывной интеграции и разворачивания веб-приложения на сервере. При создании нового коммита в системе контроля версий Git запускается компиляция решения и выполнение функциональных и юнит тестов, при успешном выполнении тестов происходит создание образа Docker, загрузка его в реестр образов и разворачивание образа на сервере [18].

Результаты

Разработанное веб-приложение содержит следующие страницы:

- «Измерение» –определение биологического возраста пациента и его сохранение;
- «Воздействие» – сохранение воздействия на организм пациента;

– «Результаты» – представление сохраненных измерений и воздействий определенного пациента, их изменение и удаление, отправка на электронную почту или выгрузка на компьютер отчетов;

– «Пациенты» – добавление, изменение или удаление данных пациентов;

– «Врачи» – добавление, изменение или удаление данных пациентов (доступно только администраторам медицинской организации);

– «Помощь» – информация о том, как пользоваться веб-приложением;

– «Личный кабинет пользователя» – в нем администратор медицинской организации или врач могут изменить свои данные, включая пароль, или выйти из системы.

Переход на все страницы, кроме «Личный кабинет пользователя», осуществляется с помощью бокового меню, которое представлено на Рисунке 2. Переход на страницу «Личный кабинет пользователя» осуществляется с помощью нажатия на имя и фамилию пользователя в правом верхнем углу страницы.

Веб-приложение реализует ролевую модель доступа с ролями пациента, врача и администратора медицинской организации. Администратор медицинской организации может добавлять, изменять и удалять данные врачей в рамках своей организации. После добавления фамилии, имя и отчества, а также электронной почты врача, ему на электронную почту отправляется письмо-приглашение для регистрации в системе. Врач после перехода по ссылке из письма и установки пароля может начать работу в приложении. Врачи и администраторы медицинских организаций могут добавлять, изменять и удалять данные пациентов, работать с их биологическим возрастом в рамках своей организации.

Перед тем как производить действие, связанное с определенным пациентом, например, сохранение измерения биологического возраста, необходимо выбрать пациента, для которого будет производиться действие, с помощью строки поиска, которая представлена на Рисунке 2. Если пациент еще не добавлен в систему, врачу или администратору медицинской организации нужно его добавить путем сохранения его персональных данных на странице «Пациенты».

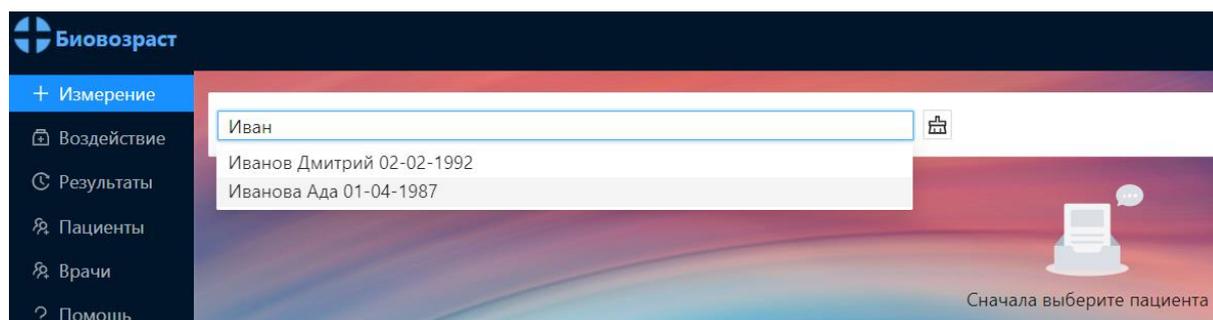


Рисунок 2 – Строка поиска пациента
Figure 2 – Patient search bar

В поле «Название воздействия» вносится название вида геропротективной терапии, также в поле «Препарат» можно внести название определенного препарата, с помощью которого производится терапия, его дозировку в поле «Доза», а также в дополнительном окне вносятся рекомендации по приему препарата и длительности курса лечения. Обязательно должно быть заполнено одно из полей «Название воздействия» или «Препарат».

Рисунок 3 – Форма добавления воздействия геропрофилактической терапии
Figure 3 – Form for adding geroprophylactic therapy

Производится измерение биологического возраста и назначается геропрофилактическое воздействие в зависимости от полученных результатов. По окончании геропрофилактической терапии проводится повторное определение биологического возраста для оценки ее эффективности. Для определения биологического возраста необходимо измерить значения биомаркеров и внести их в приложение на странице «Измерение» для выбранного пациента за определенную дату измерений. Соответствующая форма представлена на Рисунке 4. Значения маркеров старения и биологического возраста сохраняются в приложении, измерение можно изменить или удалить.

Рисунок 4 – Форма добавления измерения биологического возраста
Figure 4 – Form for biological age measurement

Завершение работы и проведение других действий, касающихся длительности и даты, проведенных геропрофилактических терапий, проводится с помощью списка на странице «Результаты». Интерфейс списка представлен на Рисунке 5. В списке представлены воздействия и измерения биологического возраста, сам список отсортирован по датам добавления воздействий.

Измерение	Дата 14-04-2022 13:00	Возраст 30	Биовозраст 43	Разница 13	Индекс массы тела 25 - Норма	Открыть	
Конец геротерапии	Дата 14-04-2022 12:00	Тип антигипоксическая	Препарат Мексидол	Доза 125мг	Рекомендация 3 раза в сутки	Разница биовозраста с возрастом за время воздействия -2	Открыть
Измерение	Дата 07-04-2022 12:00	Возраст 30	Биовозраст 44	Разница 14	Индекс массы тела 26 - Лишний вес	Открыть	
Начало геротерапии	Дата 01-04-2022 13:00	Тип антигипоксическая	Препарат Мексидол	Доза 125мг	Рекомендация 3 раза в сутки	Разница биовозраста с возрастом за время воздействия -2	Открыть
Измерение	Дата 01-04-2022 12:00	Возраст 30	Биовозраст 45	Разница 15	Индекс массы тела 26 - Лишний вес	Открыть	

Рисунок 5 – Список воздействий и измерений биологического возраста
Figure 5 – List of impacts and biological age measurements

Элемент списка типа «Измерение» представляет собой измерение биологического возраста в определенную дату. Данный элемент представлен на Рисунке 6. В нем отображается различная информация об измерении, в том числе биологический возраст, разница биологического возраста с календарным возрастом с цветовой индикацией ее критичности, а также индекс массы тела пациента с расшифровкой его значения. Отображение индекса массы тела может быть отключено врачом в настройках для определенного пациента. При нажатии на кнопку «Открыть», отображается модальное окно, содержащее форму, представленную на Рисунке 7. В этой форме отображены значения биомаркеров измерения, а также разница текущих значений с заранее заданными врачом эталонными значениями для определенных биомаркеров. Эталонные значения биомаркеров устанавливаются в настройках для определенного пациента в индивидуальном порядке. Данная форма позволяет изменить значения биомаркеров, даты измерения или удалить измерение. При изменении значений биомаркеров, значение биологического возраста будет переопределено.

Измерение	Дата 15-04-2022 20:30	Возраст 30	Биовозраст 31	Разница 1	Индекс массы тела 26 - Лишний вес	Открыть
-----------	--------------------------	---------------	------------------	--------------	--------------------------------------	---------

Рисунок 6 – Элемент измерения биологического возраста
Figure 6 – List item of biological age measurement

Дата измерения: 2022-04-02 20:00:00

Значения биомаркеров

Систолическое давление: 130 ↑ 10

Диастолическое давление: 80 ↑ 10

Задержка дыхания на вдохе: 50 ↓ 70

Задержка дыхания на выдохе: 30 ↓ 30

Жизненная емкость легких: 2500

Масса тела: 80

Рост: 185

Острота слуха: 27

Аккомодация: 7 ↑ 10

Статическая балансировка: 50

Изменить Удалить

Рисунок 7 – Форма изменения измерения биологического возраста
Figure 7 – Form for adjusting biological age measurement

Веб-приложение строит график динамики отличия биологического возраста от календарного с указанием даты начала и окончания воздействия с помощью вертикальных линий. График представлен на странице «Результаты», пример графика приведен на Рисунке 8.

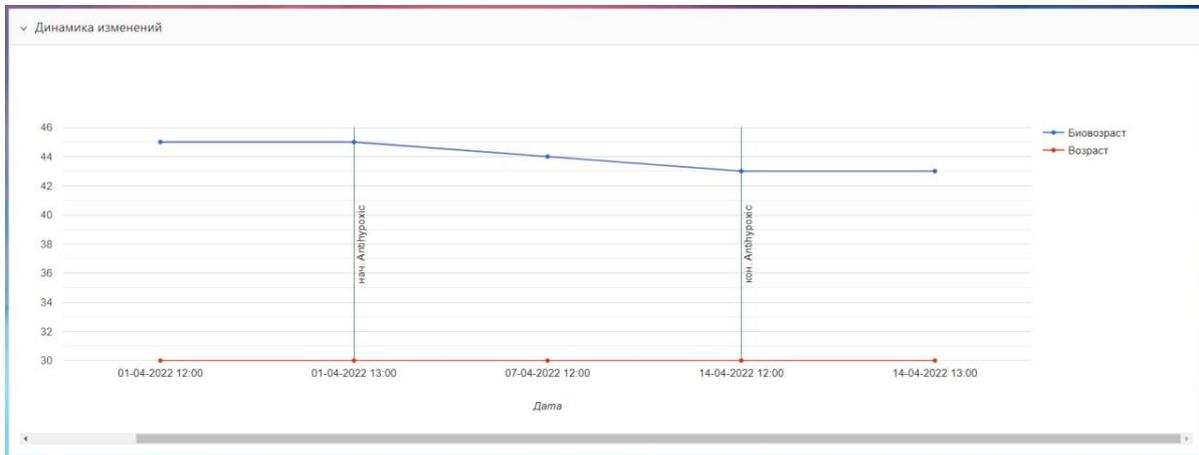


Рисунок 8 – График лечебных воздействий и измерений биологического возраста
Figure 8 – Chart of impacts and biological age measurements

Веб-приложение позволяет отправлять отчеты о биологическом возрасте пациента в форматах pdf и xlsx на электронную почту пациента. Отчет будет содержать всю вышеприведенную информацию. Отчеты могут быть выгружены на компьютер и, далее, записаны на физический носитель.

Обсуждение

Разработанное веб-приложение, в отличие от его аналогов, позволяет не только определять текущий биовозраст и его разницу с календарным возрастом, но и оперативно оценивать изменение этой разницы в динамике при различных внутренних геропрофилактических воздействиях. Поскольку в приложении есть возможность учета длительности воздействия, то можно оценить, насколько устойчивое изменение биовозраста оказывает геропрофилактическая терапия для каждого конкретного пациента. Наличие возможности выбора и подбора вида геропрофилактики позволяет выявить наиболее эффективную для данного пациента геропрофилактику [19], и как следствие, выявить ведущий механизм старения пациента, что делает его перспективным рабочим инструментом для исследований по выявлению ведущего механизма старения.

Заключение

В рамках исследования разработано веб-приложение для прогнозирования биологического возраста пациентов с возможностями определения биологического возраста при разных типах геопрофилактических воздействий и учета длительности этих воздействий. Наличие в приложении возможности оценки результатов геропрофилактики позволяет использовать это приложение в ходе выявления основного механизма старения у пациента. Разные виды геропрофилактических воздействий могут вызвать у одного и того же пациента различные изменения дельты между биовозрастом и календарным возрастом, и тот вид воздействия, который вызывает наибольшее отличие биологического и календарного возраста, показывает ведущий механизм старения пациента.

Для расширения возможности применения приложения для пациентов медицинских учреждений различного профиля планируется разработка функциональности управления моделями прогнозирования биовозраста, которая позволит задать для каждой медицинской организации со своими индивидуальными целевыми особенностями свою персонализированную модель со специфичным набором биомаркеров, которая будет отражать специфику когорты пациентов этой организации.

Таким образом, в будущем, на основе разработанного веб-приложения возможно построить полноценную систему поддержки персонификации принятия решений в медицинской сфере, которая будет объединять различные экспертные подсистемы и базы данных.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Абрамович С.Г. Биологический возраст человека. *Сибирский медицинский журнал*. 1999;4:4-7.
2. Лимановская О.В., Гаврилов И.В., Мещанинов В.Н., Щербаков Д.Л., Колос Е.Н. Моделирование биологического возраста пациентов на основе их функциональных показателей. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2021;9(2):1–16. DOI: 10.26102/2310-6018/2021.33.2.028.
3. Самородская И.В., Старинская М.А. Биологический возраст и скорость старения как фактор развития неинфекционных заболеваний и смертности. *Профилактическая медицина*. 2016;19(5):41–46. DOI [10.17116/profmed201619541-46](https://doi.org/10.17116/profmed201619541-46).
4. Wu J.W., Yaqub A., Ma Y. et al. Biological age in healthy elderly predicts aging-related diseases including dementia. *Sci Rep*. 2021;11:1–10. DOI 10.1038/s41598-021-95425-5.
5. Pyrkov T.V., Sokolov I.S., Fedichev P.O. Deep longitudinal phenotyping of wearable sensor data reveals independent markers of longevity, stress, and resilience. *Aging*. 2021;13(6):7900–7913. DOI: 10.18632/aging.202816.
6. *Humanity*. Доступно по: <https://www.humanity.health> (дата обращения: 13.04.2022).
7. Putin E., Mamoshina P., Aliper A., Korzinkin M., Moskalev A., Kolosov A., Ostrovskiy A., Cantor C., Vijg J., Zhavoronkov A. Deep biomarkers of human aging: Application of deep neural networks to biomarker development. *Aging*. 2016;8(5):1021–1030. DOI: 10.18632/aging.100968.
8. Танатканова А.К., Жамбаева А.К. Построение клиент-серверных приложений. *Наука и образование сегодня*. 2019;41:6(2).
9. Khalil M.E., Ghani K., Khalil W. Onion architecture: a new approach for XaaS (everything-as-a service) based virtual collaborations. *13th Learning and Technology Conference (L&T)*. 2016;1:1–7. DOI: 10.1109/LT.2016.7562859.
10. *NET documentation*. Доступно по: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet> (дата обращения: 06.04.2022).
11. Stonebraker M., Rowe L.A., Hirohama M. The Implementation of Postgres. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. 1990;2(1):340–355. DOI:10.1109/69.50912.
12. Adya A., Blakeley J.A., Melnik S., Muralidhar S. Anatomy of the ADO.NET entity framework. *Proceedings of the 2007 ACM SIGMOD international conference on Management of data*. 2007;1:877–888. DOI: 10.1145/1247480.1247580.
13. *Open Neural Network Exchange*. Доступно по: <https://onnx.ai> (дата обращения: 06.04.2022).
14. Suresh M., Hoang H. An Architectural Style for Single Page Scalable Modern Web Application. *International Journal of Recent Research Aspects*. 2018;5(4):6–13.

15. *TypeScript is JavaScript with syntax for types*. Доступно по: <https://www.typescriptlang.org> (дата обращения: 06.04.2022).
16. *React – A JavaScript library for building user interfaces*. Доступно по: <https://reactjs.org> (дата обращения: 06.04.2022).
17. *Azure DevOps*. Доступно по: <https://azure.microsoft.com/en-us/services/devops> (дата обращения: 06.04.2022).
18. Zhang Y., Wang H., Vasilescu B., Filkov V. One Size Does Not Fit All: An Empirical Study of Containerized Continuous Deployment Workflows. *Proceedings of the 2018 26th ACM Joint Meeting on European Software Engineering Conference and Symposium on the Foundations of Software Engineering*. 2018;1:295–306. DOI: 10.1145/3236024.3236033.
19. Мякотных В.С., Мещанинов В.Н., Боровкова Т.А., Сиденкова А.П. *Теория и практика современной геронтологии: монография*. Екатеринбург: ООО «ИИЦ «Знак качества»; 2022. 280 с.

REFERENCES

1. Abramovich S.G. Human biological age. *Sibirskii meditsinskii zhurnal = Siberian Medical Journal*. 1999;4:4–7. (In Russ.)
2. Limanovskaya O.V., Gavrilov I.V., Meshchaninov V.N., Shcherbakov D.L., Kolos E.N. Modeling the biological age of patients based on their functional indicators. *Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionnyye tekhnologii = Modeling, Optimization and Information Technology*. 2021;9(2):1–16. DOI: 10.26102/2310-6018/2021.33.2.028 (In Russ.)
3. Samorodskaya I.V., Starinskaya M.A. Biological age and the rate of aging as a risk factor for non-communicable diseases and deaths. *Profilakticheskaya meditsina*. 2016;19(5):41–46. DOI [10.17116/profmed201619541-46](https://doi.org/10.17116/profmed201619541-46). (In Russ.)
4. Wu J.W., Yaqub A., Ma Y. et al. Biological age in healthy elderly predicts aging-related diseases including dementia. *Sci Rep*. 2021;11:1–10. DOI: 10.1038/s41598-021-95425-5.
5. Pyrkov T.V., Sokolov I.S., Fedichev P.O. Deep longitudinal phenotyping of wearable sensor data reveals independent markers of longevity, stress, and resilience. *Aging*. 2021;13(6):7900–7913. DOI: 10.18632/aging.202816.
6. *Humanity*. Available by: <https://www.humanity.health> (accessed on 13.04.2022).
7. Putin E., Mamoshina P., Aliper A., Korzinkin M., Moskalev A., Kolosov A., Ostrovskiy A., Cantor C., Vijg J., Zhavoronkov A. Deep biomarkers of human aging: Application of deep neural networks to biomarker development. *Aging*. 2016;8(5):1021–1030. DOI: 10.18632/aging.100968.
8. Tanatkanova A. K., Zhambaeva A. K. Building of client-server applications. *Nauka i obrazovanie segodnya*. 2019;41:6(2). (In Russ.)
9. Khalil M. E., Ghani K., Khalil W. Onion architecture: a new approach for XaaS (everything-as-a service) based virtual collaborations. *13th Learning and Technology Conference (L&T)*. 2016;1:1–7. DOI: 10.1109/LT.2016.7562859.
10. *NET documentation*. Available at: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet> (accessed on 06.04.2022).
11. Stonebraker M., Rowe L.A., Hirohama M. The Implementation of Postgres. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. 1990;2(1):340–355. DOI:10.1109/69.50912.
12. Adya A., Blakeley J.A., Melnik S., Muralidhar S. Anatomy of the ADO.NET entity framework. *Proceedings of the 2007 ACM SIGMOD international conference on Management of data*. 2007;1:877–888. DOI: 10.1145/1247480.1247580.
13. *Open Neural Network Exchange*. Available by: <https://onnx.ai> (accessed on 06.04.2022).

14. Suresh M., Hoang H. An Architectural Style for Single Page Scalable Modern Web Application. *International Journal of Recent Research Aspects*. 2018;5(4):6–13.
15. *TypeScript is JavaScript with syntax for types*. Available by: <https://www.typescriptlang.org> (accessed on 06.04.2022).
16. *React – A JavaScript library for building user interfaces*. Available by: <https://reactjs.org> (accessed on 06.04.2022).
17. *Azure DevOps*. Available by: <https://azure.microsoft.com/en-us/services/devops> (accessed on 06.04.2022).
18. Zhang Y., Wang H., Vasilescu B., Filkov V. One Size Does Not Fit All: *An Empirical Study of Containerized Continuous Deployment Workflows*. *Proceedings of the 2018 26th ACM Joint Meeting on European Software Engineering Conference and Symposium on the Foundations of Software Engineering*. 2018;1:295–306. DOI: 10.1145/3236024.3236033.
19. Myakotnykh V.S., Meshchaninov V.N., Borovkova T.A., Sidenkova A.P. *Teoriya i praktika sovremennoy gerontologii: monografiya*. Yekaterinburg: ООО «ИТС «Znak kachestva»; 2022. 280 p. (In Russ.)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Зотов Антон Олегович, магистрант кафедры интеллектуальных информационных технологий института фундаментального образования Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Российская Федерация.

e-mail: anton@zotov.online

Zotov Anton Olegovich, Master's Student of the Department of Intellectual Information Technologies of the Institute of Fundamental Education of Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russian Federation.

Лимановская Оксана Викторовна, кандидат химических наук, доцент кафедры интеллектуальных информационных технологий института фундаментального образования Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, старший научный сотрудник лаборатории антивозрастных технологий, «Центр специализированных видов медицинской помощи «Институт медицинских клеточных технологий», старший научный сотрудник отдела общей патологии Уральского государственного медицинского университета Минздрава РФ, Екатеринбург, Российская Федерация.

e-mail: o.v.limanovskaia@urfu.ru

ORCID: [0000-0002-2084-3916](https://orcid.org/0000-0002-2084-3916)

Oksana Viktorovna Limanovskaya, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Intellectual Information Technologies, Institute of Fundamental Education of Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Senior Researcher of the Laboratory of Anti-Aging Technologies, Specialized Medical Care Center of Medical Cell Technology Institute, Senior Researcher of the Department of Common Pathology of Ural State Medical University, Yekaterinburg, Russian Federation.

Гаврилов Илья Валерьевич, кандидат биологических наук, доцент кафедры биохимии Уральского государственного медицинского университета Минздрава РФ, старший научный сотрудник лаборатории антивозрастных технологий, «Центр специализированных видов медицинской

Ilya Valeriyavich Gavrillov, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Biochemistry of Ural State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Senior Researcher of the Laboratory of Anti-Aging Technologies, Specialized Medical Care

помощи «Институт медицинских клеточных технологий», Екатеринбург, Российская Федерация.

e-mail: iliagavrilov18@yandex.ru

ORCID: [0000-0003-0806-1177](https://orcid.org/0000-0003-0806-1177)

Center of Medical Cell Technology Institute, Yekaterinburg, Russian Federation.

Мещанинов Виктор Николаевич, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой биохимии Уральского государственного медицинского университета Минздрава РФ, заведующий лабораторией антивозрастных технологий, «Центр специализированных видов медицинской помощи «Институт медицинских клеточных технологий», Екатеринбург, Российская Федерация.

e-mail: mv-02@yandex.ru

ORCID: [0000-0001-7928-2503](https://orcid.org/0000-0001-7928-2503)

Viktor Nikolaevich Meshchaninov, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Biochemistry of Ural State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Chief Researcher, Head of the Laboratory of Anti-Aging Technologies, Specialized Medical Care Center of Medical Cell Technology Institute, Yekaterinburg, Russian Federation.

Статья поступила в редакцию 29.04.2022; одобрена после рецензирования 23.05.2022; принята к публикации 31.05.2022.

The article was submitted 29.04.2022; approved after reviewing 23.05.2022; accepted for publication 31.05.2022.