

УДК 004.42:617.751.6

КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗРИТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ У ДЕТЕЙ С АМБЛИОПИЕЙ

¹Новицкая В.А., ²Карякина О.Е., ³Карякин А.А., ²Оруджова О.Н.¹ООО «Облачная медицина», Санкт-Петербург, e-mail: vika-novickay2009@yandex.ru;²ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»,
Архангельск, e-mail: o.travnikova@narfu.ru, o.orudjova@narfu.ru;³ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Минздрава России,
Архангельск, e-mail: biophysica@gmail.com

В статье рассмотрены медико-социальные аспекты проблемы охраны зрения детского населения. Показана актуальность применения компьютерных технологий для восстановления функций зрительного анализатора, а также описаны широко применяющиеся в клинической практике для этих целей программные комплексы. Представлены результаты разработки компьютерной программы для восстановления зрительных функций у детей с амблиопией, сочетающей в себе возможности реализации методов компьютерной плеоптики, а также базы данных по учету сведений о пациентах и результатах их тренировок. Интерфейс программы разработан с использованием языка «CSS», реализация функций сбора и накопления сведений о пациентах обеспечивается подключением к программе базы данных «PostgreSQL». Компьютерная программа содержит три специальных упражнения: «Цветок», «Перемещающийся шарик», «Движущийся шарик» – для которых предусмотрена возможность настройки широкого перечня параметров тренировки, что позволяет подобрать индивидуальные условия для пациентов с различными уровнями зрительных нарушений. Реализация сложных пространственно-временных паттернов зрительной стимуляции обеспечивается возможностью варьировать и дозировать оказываемую длительность воздействия, индивидуально оптимизировать режим проводимых процедур. Важнейшим достоинством разработанной компьютерной программы является реализация функций базы данных по накоплению, хранению и редактированию сведений о пациентах, что позволит сформировать представление о характере изменений в состоянии здоровья органа зрения, осуществлять контроль за диспансерной группой детей с амблиопией.

Ключевые слова: зрительные функции, амблиопия, плеоптика, компьютерная программа

THE COMPUTER PROGRAM FOR RECOVERY OF VISUAL FUNCTIONS IN CHILDREN WITH AMBLYOPIA

¹Novitskaya V.A., ²Karyakina O.E., ³Karyakin A.A., ²Orudzhova O.N.¹ООО Cloud Medicine, Saint Petersburg, e-mail: vika-novickay2009@yandex.ru;²Northern (Arctic) Federal University (NArFU), Arkhangelsk,
e-mail: o.travnikova@narfu.ru, o.orudjova@narfu.ru;³Northern State Medical University, Arkhangelsk, e-mail: biophysica@gmail.com

The medical and social aspects of the problem of protecting the health of the child population are provided. The relevance of the use of computer technologies for restoring the functions of the visual analyzer are shown, and software systems widely used in clinical practice for these purposes are described. The results of the development of a computer program for the restoration of visual functions in children with amblyopia, which combines the possibilities of implementing computer pleoptics methods, as well as a database for recording information about patients and the results of their training are provided. The program interface is developed using the CSS programming language, the implementation of the functions of collecting and accumulating information about patients is provided by connecting the «PostgreSQL» database to the program. The computer program contains three special exercises “Moving Ball”, “Flower”, “Mobile Ball”, for which it is possible to set a wide range of training parameters, which allows you to select individual conditions for patients with different levels of visual impairment. The results of the development of the program demonstrate an increase in the effectiveness of the treatment of children with amblyopia through computer training in the format of interactive exercises that stimulate the function of the cortical part of the visual analyzer. The implementation of complex space-time patterns of visual stimulation are provided with the ability to vary and dose the duration of exposure, to individually optimize the mode of procedures.

Keywords: visual functions, amblyopia, pleoptics, computer program

В настоящее время оценки ВОЗ, касающиеся глобальных масштабов и причин нарушения зрения, подтверждают наличие достаточно широких возможностей здравоохранения в предотвращении и лечении до 80% всех причин таких нарушений [1]. Согласно данным Всемирного доклада о проблемах зрения, опубликованного ВОЗ в 2019 г., в мире насчитывается не менее

2,2 млрд случаев нарушения зрения, причём более 1 млрд из них являются следствием отсутствия профилактики или лечения [2].

К числу важнейших медико-социальных проблем современного общества относится охрана зрения у детского населения в силу как высокой распространенности нарушений зрения, так и современных условий, что значительно увеличивает нагрузку

на зрительный анализатор [3]. Центральной проблемой детской офтальмологии являются аномалии рефракции, которые могут приводить не только к выраженному снижению зрительных функций у детей, но и к психологическим и социальным проблемам у данной категории пациентов как в повседневной жизни, так и в профессиональной сфере в будущем, и требуют больших временных и материальных затрат на лечение [4].

Выявлению и лечению заболеваний глаз, зрительной системы в детском и подростковом возрасте по праву уделяется повышенное внимание. Комплекс мероприятий при лечении заболеваний глаз у детей чрезвычайно важно проводить в максимально ранние сроки, учитывая сопутствующую общесоматическую патологию. Незавершенность дифференцировки нервных элементов и высокая пластичность нейронов в детском возрасте дают возможность в более короткие сроки значительно улучшить зрение, нежели при лечении взрослых пациентов [5]. Уровень распространенности патологии зрения среди детей и подростков в Российской Федерации на 19% превышает показатели заболеваемости взрослого населения со стойкой тенденцией к росту, составляя 13 тыс. на 100 тыс. детского населения [6].

К одной из наиболее значимых причин стойкого снижения остроты зрения у детей относят рефракционную амблиопию, распространенность которой при сочетании с гиперметропией составляет от 12 до 70%, с косоглазием – 70–87% [7]. Для успешного лечения амблиопии необходимы функциональные тренировки зрения при создании преимущественных условий для амблиопического глаза. Многообещающей стратегией для лечения бинокулярных нарушений является перцептивное обучение с применением специальных интерактивных компьютерных программ, использование которых позволяет восстановить бинокулярное зрение, методика признана эффективной и широко используется в клинической практике [8, 9].

В основе методов компьютерной плеоптики лежат современные представления о функционировании каналов передачи информации в зрительной системе на разных ее уровнях. Они реализованы в виде компьютерных игр, которые адаптируются к степени снижения зрительных функций и сочетают избирательную стимуляцию с комплексным воздействием и неспецифической активацией пораженных подсистем [10]. Благодаря пластичности мозга и его способности к обучению, при регулярных занятиях (2–5 тыс. упражнений за курс лечения) наблюдается повышение уровня ак-

тивности зрительных нейронов с изменением межнейронных связей в зрительной коре, которое приводит к нормализации работы всей зрительной системы и обеспечивает долговременные результаты лечения [11]. Интенсивное внедрение в офтальмологию современных цифровых технологий позволило рассматривать компьютерные методы, применяемые для восстановления функций зрительного анализатора, как доступный способ повышения эффективности лечения страдающих амблиопией детей.

В программах для восстановления бинокулярных зрительных функций пациент имитирует предметную деятельность в виртуальном пространстве, адаптируемом к особенностям его зрения за счет разделения полей зрения и подбора такого характера и степени диссоциации изображений для правого и левого глаза, при которых обеспечивается совместная работа обоих глаз [12]. В клинической практике для восстановления и развития зрительных функций, контроля за проводимым лечением широко используется сертифицированный аппаратно-программный комплекс «Окулист» (ООО «Астроинформ СПЕ», Россия), который включает в себя различные по функциям программные модули. Нами были проанализированы возможности ряда других аналогичных компьютерных программ, среди которых интегрированный лечебно-диагностический комплекс программ «Академик» (ИППИ РАН, Россия), программа для восстановления бинокулярного зрения «Маленький волшебник» (МНТК «Микрохирургия глаза», Тамбовский государственный университет, Россия), программный пакет МЕКО (КАПБИС, Россия), компьютерно-тренировочный комплекс «Школьник» (Россия).

В результате проведенного обзора существующих комплексов программ была отмечена их значительная закупочная стоимость и необходимость приобретения всего комплекта модулей, а также продление резервного времени занятий за дополнительную плату. Кроме того, в ряде случаев пользователи отмечают некорректную работу компьютерных тренажеров в некоторых операционных системах, повышенные требования к цветопередающим характеристикам монитора, использование специальных очков.

Учитывая вышеизложенное, целью настоящего исследования явилась разработка компьютерной программы для восстановления зрительных функций у детей с амблиопией, сочетающей в себе возможности реализации методов компьютерной плеоптики, а также базы данных по учету сведений о пациентах и результатах их тренировок.

Материалы и методы исследования

Компьютерная программа разработана на языке JavaScript с помощью среды «Visual Studio Code», интерпретируемой фреймворком «Electron», который включает в себя платформу Node.js, обеспечивающую работу с базой данных, а также библиотеки рендеринга. Интерфейс программы разработан с использованием языка иерархических правил «CSS». Реализация функций сбора и накопления сведений о пациентах обеспечивается подключением к программе базы данных «PostgreSQL». Проектирование интерфейса программы и компьютерных упражнений осуществлялось при консультационной поддержке врачей-офтальмологов Северного детского офтальмологического центра (г. Архангельск).

Результаты исследования и их обсуждение

Разработанная компьютерная программа для восстановления остроты зрения у детей с амблиопией включает в себя пять функциональных блоков, предназначенных для реализации ввода информации о новом пациенте, выбора упражнения для тренировки, записи результатов в базу данных. Структурная схема компьютерной программы, отражающая взаимосвязь основных блоков, представлена на рис. 1.

При запуске программы пользователю необходимо пройти авторизацию, после чего происходит запуск главного диалогового окна. Совокупность сведений о пациенте заносится в первый блок и включает в себя помимо основных данных (ФИО, пол, возраст, адрес регистрации, дата заполнения) меди-

цинскую информацию о диагнозе, остроте зрения без коррекции и с коррекцией, оценку компонентов фузии, значения фузионных резервов, расстройство конвергенции, силу рефракции. После корректного ввода и сохранения сведений о пациенте программа переходит к выбору компьютерного упражнения. Следует отметить, что с помощью функций второго блока предусмотрена возможность настройки широкого диапазона параметров проводимых компьютерных тренировок, а именно уровня сложности упражнения, скорости перемещения и контрастности объектов, цветовой гаммы, что позволяет подобрать исходные индивидуальные условия занятий для пациентов с различными уровнями зрительных нарушений.

Третий блок разработанной программы «Блок лечения амблиопии» содержит специальные упражнения «Цветок», «Перемещающийся шарик», «Движущийся шарик», выбор которых осуществляется через диалоговое окно пользователя. Несмотря на различия зрительных стимулов, предъявляемых пациенту, все они основаны на принципах построения компьютерных программ для коррекции функциональных зрительных нарушений и направления для лечения амблиопии. Игровой смысл поставленной задачи предусматривает синхронизацию действий пользователя по обнаружению и слежению за визуальными образами на экране компьютера с движениями компьютерной мыши. Настройка размеров и временных характеристик отображаемых зрительных стимулов осуществляется автоматически с использованием функции отслеживания реакции пациента.

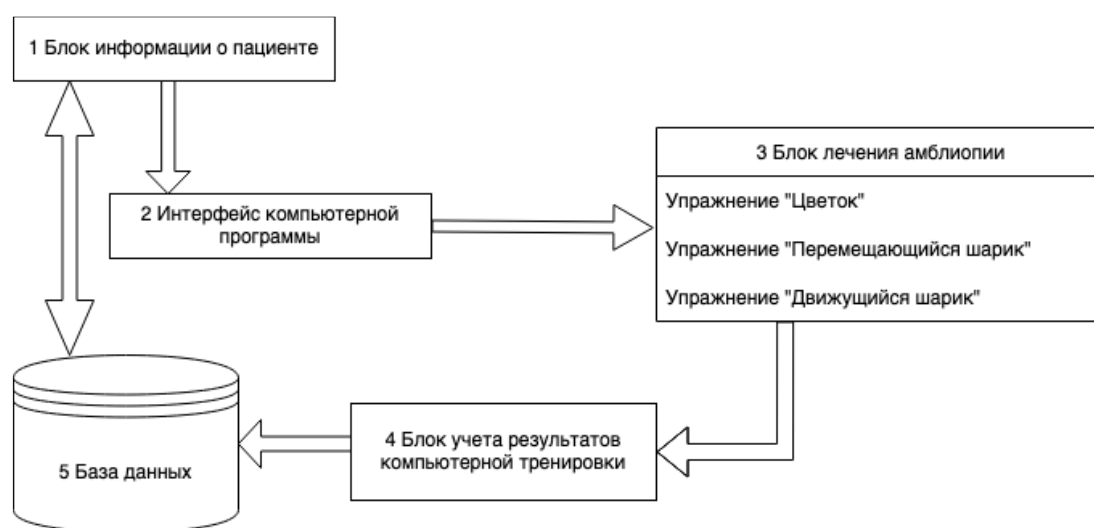


Рис. 1. Структурная схема компьютерной программы для восстановления зрительных функций у детей с амблиопией

Классическое упражнение «Цветок» предлагает пациенту серию усложняющихся, но однотипных зрительных тренировок, состоящих в поиске заданного объекта среди нескольких, предъявляемых на лепестках цветка (рис. 2, а). Стимуляция механизмов локализации и фиксации объектов на однородном черном фоне или на фоне паттерна была реализована в упражнении «Перемещающийся шарик», при выполнении которого пациенту необходимо поймать с помощью манипулятора «мышь» перемещающийся по фоновому изображению кружок (рис. 2, б). По мере прохождения упражнения и изменения уровня его освоения размеры клеток паттерна уменьшаются, а скорость перемещения кружка изменяется, что обеспечивает оптимальный лечебный эффект.

Упражнение «Движущийся шарик» использует стереокинетический круглый стимул, который движется по шахматному полю (рис. 3). Пользователю необходимо с помощью манипулятора «мышь» поймать зрительный стимул, появляющийся в случайном месте экрана. Когда глаз пациента занят поисками круга, возбуждаются раз-

личные нейроны, в том числе детекторы контраста, движения и ориентации, активизируются процессы конвергенции и аккомодации, определяющие четкость изображения на сетчатке. Игровая задача побуждает пациента удерживать взор на движущемся круге в течение одной минуты.

С помощью четвертого составного компонента программы «Блок учета результатов компьютерной тренировки» фиксируются даты и длительность тренировок, производится подсчет количества допущенных ошибок с представлением данных в табличном и графическом формате, что позволяет оценивать динамику лечения.

Совокупность информации о пациентах хранится в системе управления базой данных «PostgreSQL» (блок 5). В ходе анализа первичных сведений была построена инфологическая модель, а именно выявлены информационные объекты создаваемой реляционной базы данных, содержащие сведения об основных свойствах предмета автоматизации, установлены взаимосвязи между хранимыми в базе данных отношениями (таблицами) (рис. 4).

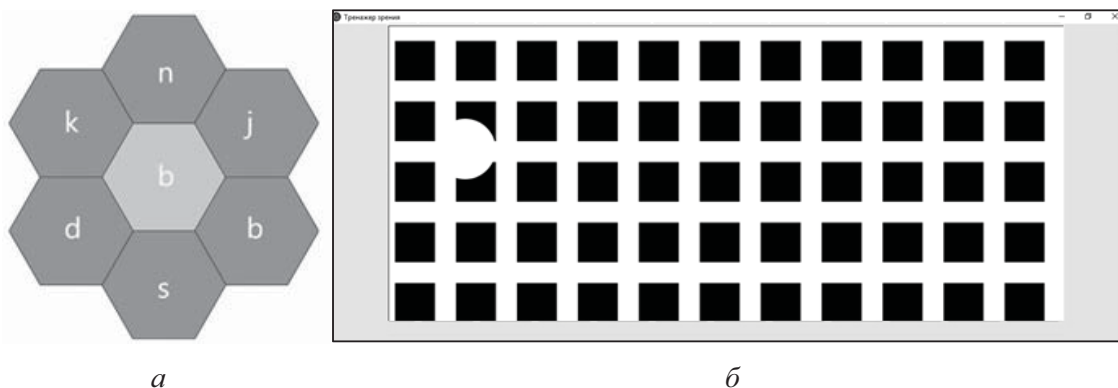


Рис. 2. Диалоговое окно выполнения упражнений «Цветок» (а), «Перемещающийся шарик» (б)

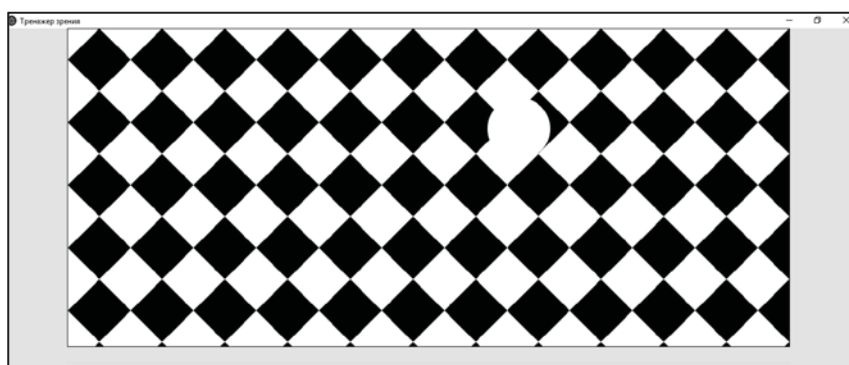


Рис. 3. Диалоговое окно выполнения упражнения «Движущийся шарик»

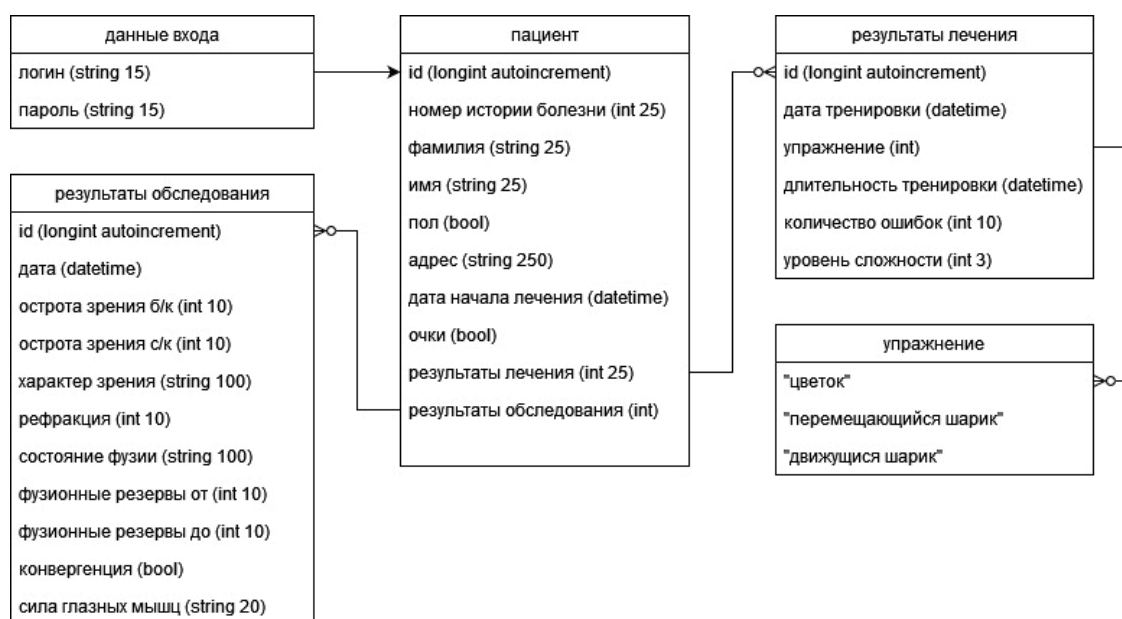


Рис. 4. Диаграмма отношений набора сущностей базы данных компьютерной программы

Создание таблиц базы данных и необходимых взаимосвязей между ними было выполнено с применением графического инструмента «pgAdmin 4». На первом этапе проектирования базы была выполнена нормализация исходных данных, выделены ключевые, индексируемые поля, определены типы данных и оптимальная длина полей таблиц. Содержанием второго этапа проектирования стало формирование следующих таблиц «Данные входа», «Пациент», «Результаты лечения», «Упражнения» и «Результаты обследования». Таблица «Данные входа», включающая сведения о логине и пароле, обеспечивает строгие требования к способу хранения пароля на основе 8-битного MD5 хэширования, при этом значения хэша были выбраны с учетом особенностей хранимой информации. Далее осуществляли разработку пользовательского интерфейса путем формирования электронных форм, предназначенных для быстрого и качественного взаимодействия пользователя с системой.

Корректность вводимой в поля электронных форм информации и исключения возможности ввода ошибочных данных достигается использованием специальной функции контроля типов значений, дополнительно наряду с формализованной информацией часть сведений может быть занесена в свободной форме. Отдельные поля, такие как «имя», «фамилия», «состояние фузии», «фузионные резервы», должны состоять из букв латинского алфавита или ки-

риллицы и не содержать знаки пробел, запятая, точка или специальные символы, числовые значения исключают ввод строковых данных. Выявление ошибок передачи информации из электронных форм пользователя в таблицы базы данных и оценка надежности разработанной компьютерной программы были выполнены с помощью специально написанных unit-тестов.

Встроенная в программу база данных содержит конструктор запросов, в котором пользователь может задать условия поиска при различных сочетаниях интересующих параметров взаимосвязанных таблиц и получить результирующую таблицу. Использование запросов предоставляет пользователю возможность упорядочивания, фильтрации, изменения и объединения данных.

Апробация программного продукта проводилась в тестовом режиме совместно с врачами-офтальмологами Северного детского офтальмологического центра: одобрены функциональные возможности системы, соответствующие требованиям, которые были заявлены на этапе постановки задачи, произведена отладка программного кода, оптимизирован ряд функций.

Таким образом, разработанная нами компьютерная программа представляет собой современный цифровой инструмент, применение которого в клинической практике позволит расширить диагностические возможности офтальмологических кабинетов, повысить доступность компьютерных

методов плеоптики для пациентов. Значимым фактором является использование языка JavaScript, базирующегося на свободном программном обеспечении, что исключает лицензионные отчисления на проприетарные программные продукты и позволяет обоснованно подойти к экономии денежных средств государственной бюджетной медицинской организации.

Заключение

Предлагаемые авторами в настоящем исследовании программные решения направлены на повышение эффективности лечения детей с амблиопией за счет компьютерных тренировок в формате интерактивных упражнений, стимулирующих функцию коркового отдела зрительного анализатора. Реализация сложных пространственно-временных паттернов зрительной стимуляции обеспечивается возможностью варьировать и дозировать оказываемую длительность воздействия, индивидуально оптимизировать режим проводимых процедур. Встроенные в программу компьютерные упражнения предполагают выполнение пациентами осмысленной зрительной работы, что является важным фактором, влияющим на результаты проводимой комплексной терапии.

Подводя итоги работы, необходимо подчеркнуть, что важнейшим достоинством разработанной компьютерной программы является реализация функций базы данных по накоплению, хранению и редактированию сведений о пациентах. Это позволит сформировать представление о характере изменений в состоянии здоровья органа зрения, осуществлять контроль за диспансерной группой детей с амблиопией. Предлагаемая система может быть рекомендована для использования в учреждениях здравоохранения офтальмологического профиля, а также для индивидуального домашнего применения у детей в возрасте от трех лет. На компьютерную программу получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ [13].

Таким образом, разработанная компьютерная программа позволит оказывать выраженный положительный эффект в виде повышения остроты зрения и исправления фиксации взгляда у детей с амблиопией, поддерживая приверженность пациента

прохождению лечения, осуществлять гибкую настройку параметров интерактивных упражнений, получать быстрый доступ к результатам лечения пациента и принимать обоснованные решения, осуществлять мониторинг динамики лечения пациентов на основе анализа количественных результатов компьютерных тренировок.

Список литературы

1. Universal eye health: a global action plan 2014–2019. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data. Brochure and flyer. 26 October 2013. 22 p.
2. Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years, and prevalence of avoidable blindness in relation to VISION 2020: the Right to Sight: an analysis for the Global Burden of Disease Study. Lancet Glob Health. 1 December 2020. P. 144–160.
3. Галимзянова Г.З., Гурылева М.Э. Факторы, способствующие формированию миопии у школьников // Российский педиатрический журнал. 2012. № 2. С. 47–51.
4. Маркова Е.Ю., Курганова О.В., Безмельницкая Л.Ю., Пронько Н.А., Венедиктова Л.В. Клинико-экономическое обоснование ранней диагностики аметропий у детей // Российский офтальмологический журнал. 2017. № 1. С. 26–30.
5. Кизеев М.В., Ершова С.Ю., Красногорская В.С., Антипина С.Б., Нежкина Н.Н. Оценка эффективности комплексных реабилитационных мероприятий у детей и подростков с аномалиями рефракции в виде миопии, гиперметропии, спазма аккомодации // Курортная медицина. 2016. № 2. С. 179–181.
6. Катаргина Л.А., Михайлов Л.А. Состояние детской офтальмологической службы в Российской Федерации (2012–2013 гг.) // Российская педиатрическая академия. 2015. № 1. С. 5–10.
7. Апаев А.В., Тарутта Е.П. Сравнительная оценка параметров зрительной фиксации при амблиопии различного генеза // Вестник офтальмологии. 2020. № 2. С. 26–31.
8. Подугольников Т.А. Восстановление зрительных функций при амблиопии с помощью компьютерных тренировок // Сборники конференций НИЦ Социосфера. 2013. № 34. С. 45–51.
9. Мешочкова М.В., Онуфрейчик Е.Н., Богданова Е.Л. Информационные технологии в медицине: правовая охрана и защита интеллектуальной собственности // АНИ: экономика и управление. 2017. № 18. С. 123–125.
10. Матросова Ю.В. Этиопатогенез, клиника и методы лечения больных с амблиопией // Офтальмологический журнал. 2010. № 3. С. 25–29.
11. Рябцева А.А., Таранникова С.В. Опыт использования офтальмотренажера-релаксатора «Визотроник» у детей с миопией в глазном отделении МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского // Актуальная биотехнология. 2014. № 3. С. 78–79.
12. Залевская С.О., Карабут Н.В. Развитие информационных технологий в медицине // Инновационная наука в глобализующемся мире. 2017. № 1 (4). С. 57–58.
13. Новицкая В.А., Пузырев С.М., Карякина О.Е. Компьютерная программа для лечения амблиопии // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018660212 от 20.08.2018.