

ЦИФРОВАЯ МЕДИЦИНА: ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ТЕЛЕМЕДИЦИНСКИХ ТЕХНОЛОГИЯХ ДИАГНОСТИКИ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

**Никитаев В.Г., Проничев А.Н., Сельчук В.Ю., Нагорнов О.В. Дмитриева В.В.,
Поляков Е.В.,**

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
kaf46@mail.ru*

Махутов Н.А.,

*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН
kei51@mail.ru*

Богомолов А.И.

*Финансовый университет при Правительстве РФ
aibogomolov@fa.ru*

Аннотация: Работа, посвящена применению искусственного интеллекта на основе баз знаний, распознавания образов и систем поддержки принятия решений в телемедицинских технологиях для онкологической диагностики. Рассмотрены проблемные вопросы телемедицинских технологий. Показано применение предложенных технологий в области диагностики онкологических заболеваний с использованием телемедицинской сети и комплекса «АТЛАНТ» для диагностики минимальной остаточной болезни.

Ключевые слова: искусственный интеллект, диагностика онкологических заболеваний, телемедицина, минимальная остаточная болезнь.

Введение

Онкологические заболевания ставят перед мировым сообществом серьезнейший круг комплексных проблем, связанных с утратой трудоспособности (полной или частичной) различных слоев населения планеты.

Проблемы в лечении заболеваний зачастую вызваны ошибками в диагностике. Это, в свою очередь, обусловлено дефицитом высококвалифицированных врачей-диагностов. Кроме того, стремительно нарастающий объем медицинских знаний приводит к необходимости узкой специализации врачей. Запаздывание с выявлением заболеваний на ранней стадии и ошибочные диагностические заключения (особенно в области онкологии) приводят к осложнениям в лечении, инвалидности и в ряде случаев к смерти.

Обнаружение минимального рака – ключевая проблема онкологии, так как контроль над этими клетками позволит совершенствовать методы лечения направленные на полное уничтожение опухоли, что является необходимым для предотвращения рецидивов злокачественных опухолей, большинство из которых являются инкурабельными (неизлечимыми) и приводят к летальному исходу (смерти) больных.

Важное место в решении указанных проблем занимает разработка новых перспективных технологий онкологической диагностики, в частности, основанной на технологиях искусственного интеллекта (базы знаний, распознавание образов, системы поддержки принятия решений).

Цель работы - анализ современного состояния и перспектив применения искусственного интеллекта в телемедицинских технологиях диагностики онкологических заболеваний на примере опыта полученного кафедрой «Компьютерные медицинские системы» при разработке телемедицинской сети РОСАТОМ-ФМБА-МИФИ[1-4].

1 Телемедицинские технологии в диагностике заболеваний

Телемедицина в буквальном смысле означает «медицина на расстоянии». В настоящее время существуют десятки различных определений этого понятия. Многообразие подходов к определению понятия «телемедицина» связано, прежде всего, с тем, что это понятие в реальности охватывает, с одной стороны, медицину, а, с другой стороны, целый ряд областей науки и техники: связь (телекоммуникации), микроэлектронику, информатику, информационно-измерительную технику, кибернетику. Причем, образно говоря, «одно без другого работать не может». В данной работе под термином «телемедицина» понимается множество телекоммуникационных и

информационных методов, применяемых в здравоохранении, а также их разнообразные клинические приложения [5].

В публикациях приводятся различные, в том числе предположительные исторические даты и факты зарождения телемедицины, связанные с первым применением телеграфа, телефона, радио, телевидения для оказания медицинской помощи. 12 апреля 1961 г., когда впервые в истории человечества Юрий Гагарин совершил полет в космос, с борта космического корабля «Восток» на Землю передавалась информация о физиологических показателях космонавта. Иными словами, осуществлялась дистанционная диагностика. Так начиналась эра космической телемедицины.

Передача и прием информации в телемедицинских технологиях основаны на использовании сетей связи: телефонных – общего назначения, с выделенными линиями; мобильных компьютерных сетей – локальных, глобальных, всемирной сети Интернет и др.

Приоритетная задача телемедицины заключается в создании условий, при которых помощь высококвалифицированных специалистов станет доступной всем жителям, независимо от расстояния до специализированных медицинских центров.

По каналам связи идет обмен разнообразной информацией – текстовой, графической, символьной, числовой, речевой, видеоинформацией. Это выписки из истории болезни, обсуждение диагноза, изображения гистологических, цитологических и гематологических препаратов, рентгеновских снимков, служебная документация и др. [6-10]

В число основных направлений применения телемедицинских технологий входят:

- телемедицинская консультация;
- телемониторинг функциональных показателей (когда данные одного или многих пациентов передаются в консультативный центр);
- телеобучение (дистанционное обучение);
- телемедицинское совещание (консилиум).

Выбор вида связи определяется целым рядом требований, предъявляемых к системе связи. Подробный их анализ является предметом специального рассмотрения и выходит за рамки данной работы. Здесь на примерах кратко рассмотрим интересующие пользователя вопросы оперативности обмена информацией, надежности связи, стоимости.

Оперативность обмена информацией. При обмене данными различают два режима:

- режим реального времени (online). Примером могут служить срочные консультации во время хирургической операции;
- режим разделения времени (offline), назовем отсроченные консультации.

Важной количественной характеристикой оперативности обмена информацией является скорость передачи информации (пропускная способность) по линии связи, которая определяется количеством информации, поступающей по линии связи за одну секунду, и выражается в бит/с. Например, при проведении телемедицинских консультаций по срочным биопсиям во время хирургических операций на щитовидной железе консультирующий врач обычно запрашивает около 10 фрагментов изображений препаратов. Если принять достаточный для гистологических исследований формат цифрового изображения 2048x2048x24 (объем 12 Мбайт в несжатом формате, около 1 Мбайта в формате со сжатием) и выбрать линию связи со скоростью передачи информации 50 Мбит/с, то передача указанных фрагментов (без сжатия информации) займет не более 20 сек., что достаточно для срочных биопсий. Отметим, что принципиально наивысшими возможностями по скоростям передачи информации обладают волоконно-оптические линии и системы оптической связи – до десятков терабит в секунду [11].

Надежность связи. Надежность связи – способность связи безотказно (устойчиво) работать в течение определенного отрезка времени с заданными для данных условий эксплуатации достоверностью и быстродействием. Рассмотрим экстремальную ситуацию, вызванную, например, техногенной катастрофой и приводящую к выходу из строя наземных линий связи. В этом случае наибольшую надежность имеет космическая связь. К примерам низкой надежности связи (связь часто обрывается) относится аналоговая телефонная связь общего пользования при модемной передаче больших объемов информации (скажем, цветных изображений).

При проведении телемедицинских консультаций тяжелого больного врач может полагаться не только на собственный опыт. Благодаря телемедицинским технологиям врачи и специалисты могут слушать лекции известных ученых по самым актуальным проблемам здравоохранения и медицинской науки, поддерживать профессиональные связи с ведущими мировыми научными центрами, а также со своими коллегами из соседних районных больниц или с ведущими

специалистами областного центра. Также появляется возможность использования технологий видеоконференций, позволяющих сторонам живое общение в режиме видео.

Достигнутые успехи в передаче медицинской информации на дальние расстояния стимулировали возникновение целого ряда разделов телемедицины: телепатологии, телехирургии, телекардиологии, телерадиологии и др.

Основные направления развития телемедицины в нашей стране (структура управления, консультативная помощь, интернет-медицина, дистанционное образование, технологические решения, правовые аспекты и др.) нашли отражение в Концепции развития телемедицинских технологий в Российской Федерации. Она была утверждена в 2001 г. Министерством здравоохранения Российской Федерации, Российской академией медицинских наук. В 2017г. был принят Федеральный закон «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам применения информационных технологий в сфере охраны здоровья» [5]

Проблемы телемедицины (а их много, если учесть масштабность работ, связанных с ее массовым внедрением) можно разделить на организационные, экономические, правовые, технические, методические, проблемы информационной безопасности.

К техническим проблемам относятся:

- регистрация данных с качеством, достаточным для диагностики: разрешающая способность, чувствительность (характеристики и настройка аппаратуры), контрастная чувствительность;
- обеспечение идентичности воспроизведения данных на передающей и приемной станции (настройка аппаратуры – цветовой тон, контраст, яркость), характеристики аппаратуры (разрешающая способность, формат экрана, контрастные и яркостные характеристики). Большое значение для организации телемедицинской консультации имеют выбор оптимального соотношения качества передаваемого изображения и его формата. При сжатии изображения могут наблюдаться значительные потери его деталей, что сказывается, в первую очередь, на диагностической значимости;
- обеспечение необходимой скорости передачи информации, своевременности доступа к линии связи, надежности связи;
- организация технического сопровождения (настройка аппаратуры, профилактика, ремонт).

В число методических проблем телемедицины входят:

- выбор представительного материала для исследования (достаточного числа изображений информативных полей);
- обеспечение необходимой сопроводительной информации;
- обеспечение однозначно понимаемого языка описаний и заключений (формализация описаний и заключений);
- обеспечение оперативной обратной связи;
- обеспечение стандарта подготовки материала для исследования;
- обучение персонала применению средств телемедицины;
- психологическая адаптация врачей к новой методике.

Правовые проблемы телемедицины. Одним из актуальных является вопрос ответственности за ошибки при проведении дистанционной диагностики. Выражаясь простым языком: кто виноват – медицина, техника? За всем этим стоят люди – врачи, лаборанты, разработчики телемедицинских систем, обслуживающий персонал. Чтобы разобраться в конкретном случае, нужна соответствующая правовая и нормативно-методическая база. Необходимо установить ответственность за распространение ложной медицинской информации в сетях связи и за преднамеренное искажение медицинской информации (например, относящейся к пациенту).

Проблема информационной безопасности. Суть ее состоит в том, что при случайном или преднамеренном доступе к источнику информации (электронной истории болезни, электронным атласам, справочникам, диагностическим материалам и т.д.) может быть принципиально искажена истинная медицинская информация. Последствия такого вмешательства предугадать нетрудно. Проблемы защиты информации в сетях связи относятся к сложным, а средства защиты, хотя и существуют, стоят дорого. На практике руководствуются значимостью проблемы и разумным соотношением качество/цена при выборе средств защиты. Для должного решения этого вопроса в отечественной телемедицине, наряду с приемлемыми техническими мерами, необходимо в законодательном порядке ввести обязательное использование средств защиты информации в телемедицинских системах.

Стратегические задачи телемедицины неразрывно связаны с подготовкой кадров и повышением квалификации разработчиков телемедицинских систем, врачей, медсестер, лаборантов, управленческого и обслуживающего персонала. На решение этих задач направлена деятельность образованной в 2000 г. в МИФИ новой кафедры «Компьютерные медицинские системы». Кафедра готовит специалистов по следующим направлениям: компьютерные системы клинической диагностики, телемедицинские технологии, технологии искусственного интеллекта, обучающие (включая дистанционные) медицинские системы.

Характеризуя в целом состояние работ многочисленных телемедицинских проектов у нас в России и за рубежом (прежде всего в США и Европе), можно сказать, что телемедицина пока делает свои первые, хотя и безусловно важные, шаги.

Современный разработанный с участием НИЯУ МИФИ, ФМБА России, НМИЦ онкологии им. Н.Н.Блохина, Росатома телемедицинский комплекс основан на применении методов и средств компьютерной микроскопии, искусственного интеллекта для решения широкого круга диагностических задач – гистологической, цитологической и гематологической диагностики.

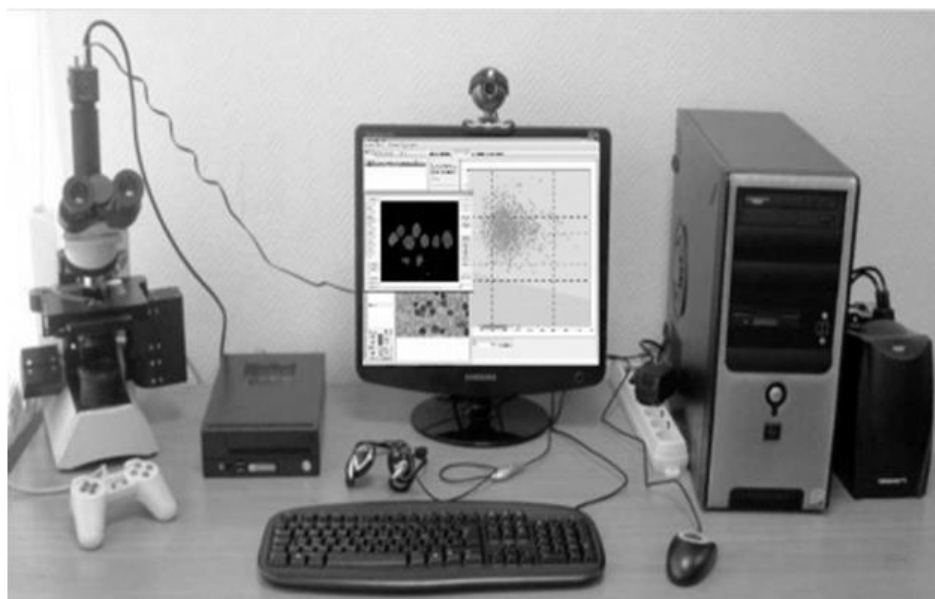


Рис. 1. Общий вид комплекса АТЛАНТ для исследований в области онкогематологии

Возможности комплекса позволяют эффективно развивать его для решения задач эндоскопической, рентгенологической, томографической, радиоизотопной, ультразвуковой, кардиологической, иммунологической и других видов диагностик.

Комплекс осуществляет:

- цифровую регистрацию микроскопических изображений микропрепаратов;
- проведение телемедицинских консультаций со специалистами ведущих медицинских центров страны;
- дистанционное управление сканированием препарата при микроскопическом исследовании для выбора информативной области с целью детального анализа структуры ткани специалистами ведущих медицинских центров;
- анализ обзорного изображения микроскопического препарата на мониторе компьютера с мгновенным переключением увеличения информативной области для детального анализа;
- возможность использования экспертных систем и систем поддержки принятия решений;
- интерактивный анализ исследуемого изображения в сравнении с изображениями из архива микроскопических изображений препаратов опухолей;
- анализ текстурных характеристик изображений микроскопического препарата;
- возможность формирования собственных архивов изображений микропрепаратов;
- формирование протоколов микроскопических исследований.

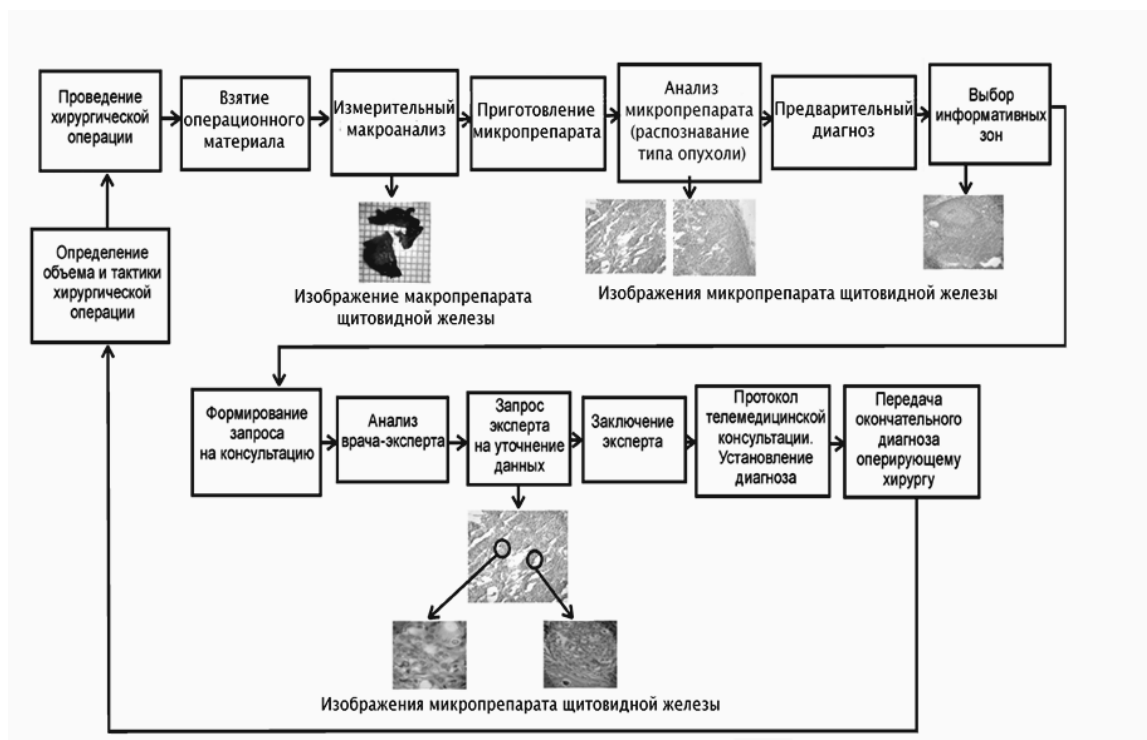


Рис. 2. Методика автоматизированного анализа гистологических препаратов при экспресс-биопсии

Например, во время проведения хирургической операции первоочередной диагностический интерес представляют срочные (экспресс, интраоперационные) биопсийные исследования по определению типа класса имеющихся у пациента новообразований – доброкачественные или злокачественные.

На рис.2. демонстрируется обобщенная методика проведения срочных биопсийных исследований с применением компьютерных гистологических систем и телемедицинских технологий – для оказания консультативной помощи врачу –патологу в сложных диагностических случаях.

2 Анализ результатов

Системы поддержки принятия врачебных решений, вошедшие в состав телемедицинского комплекса, созданы с участием специалистов Национального медицинского исследовательского центра онкологии им. Н.Н. Блохина на базе архивов и включают представительную выборку изображений и описаний различных нозологических форм щитовидной железы, молочной железы, почек, желудка, поджелудочной железы, толстой кишки, пищевода, шейки матки.

Базы данных систем содержат свыше 8000 гистологических изображений и более 5000 цитологических изображений опухолей и опухолеподобных процессов.

Разработанные телемедицинские технологии позволили повысить выявляемость онкологических заболеваний на ранних стадиях в семи медсанчастях ФМБА России на 16%.

Комплекс АТЛАНТ может использоваться как автономно, так и в составе телемедицинской сети для проведения плановых и срочных консультаций (в том числе, во время хирургических операций) с ведущими медицинскими центрами страны.

В области гематологии методы искусственного интеллекта в компьютерной микроскопии (распознавание образов, базы знаний, экспертные системы) по сравнению с визуальной микроскопией обладают неизмеримо более широкими возможностями для исследования строения хроматиновых нитей ядер клеток крови и объективизации результатов анализа в виде числовых индексов. Современными направлениями исследований применения компьютерной микроскопии в области гематологии являются:

- получение дополнительных независимых объективных критериев при дифференциальной диагностике вариантов острых лейкозов;
- установление корреляций между структурой бластов и их иммунофенотипическим статусом;

- определение взаимосвязи между результатами морфологического исследования и данными проточной цитометрии при установлении иммуноподвариантов острого лимфобластного лейкоза.

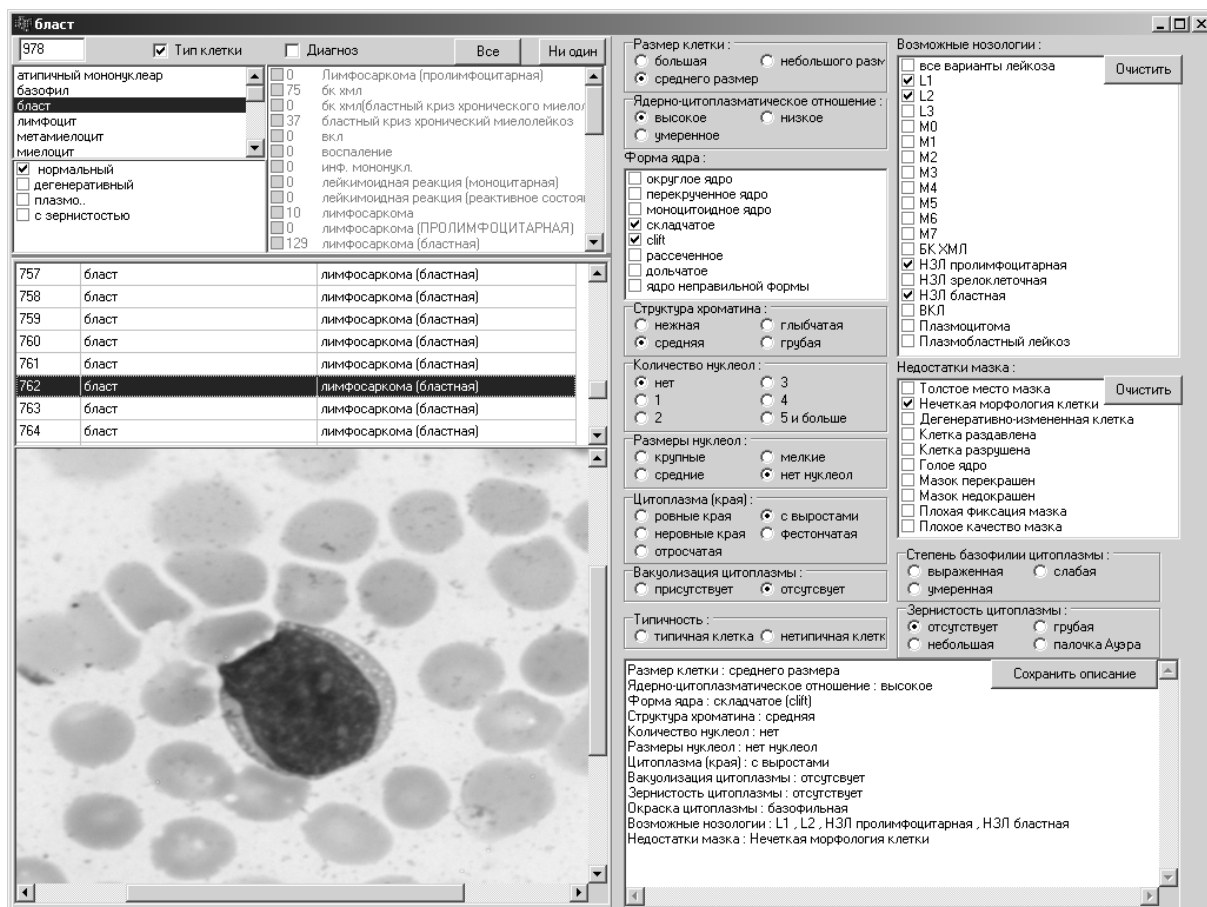


Рис. 3. Автоматический поиск бластов на изображениях препаратов крови путём расчёта параметров ядер с использованием свойств текстуры хроматина

В рамках применения компьютерной микроскопии в области гематологии получены следующие результаты:

Предложены методы, модели и программное обеспечение для количественного анализа клеток крови на изображениях препаратов крови и костного мозга, позволяющие определить тип лимфоцитов и лейкоэмических бластов на основе измерения морфологических, текстурных и вейвлет-характеристик при проведении исследований для установления вариантов острого лейкоза.

Применение предложенных методов повышает эффективность диагностики острого лейкоза за счет объективизации микроскопического анализа.

Проведенные экспериментальные исследования в информационно-измерительных системах на базе световой микроскопии показали, что полученные количественные характеристики по цифровым изображениям ядер клеток крови с препаратов крови и костного мозга являются существенным критерием, дающим основание предположить зависимость между направленностью дифференцировки клеток и строением хроматина ядер.

Предложенные решения могут быть использованы для выявления фундаментальных взаимосвязей морфологических и текстурных характеристик полученных изображений с экспрессией ключевых антигенов острых лимфобластных лейкозов при первичной диагностике, в рецидиве, в ремиссии и в ходе анализа минимального числа опухолевых клеток при остаточной болезни в онкологии.

Следует отметить и учебный аспект применения телемедицинских технологий для повышения квалификации врачей по актуальным вопросам диагностики опухолей и применению компьютерных диагностических систем поддержки принятия решений. Для этого созданы системы дистанционного обучения врачей-диагностов применению компьютерных диагностических систем с использованием мультимедийных средств (интегрирующих видео, звуковую и текстовую

информацию), электронных учебников, систем контроля знаний, лабораторных практикумов. Среди них компьютерные учебные фильмы по компьютерным системам, база знаний клеток крови используемая как наглядный атлас-справочник клеток крови на практических и лекционных занятиях при обучении врачей распознаванию патологических клеток, лабораторный практикум по применению текстурного анализа для идентификации бластных клеток и др.

Обеспечение высококвалифицированной медицинской помощью (в первую очередь диагностической) удаленных от ведущих медицинских центров больных может быть достигнуто за счет создания сети дистанционной медицинской диагностики, которая приведет к существенному снижению числа диагностических ошибок, ускорению постановки правильного диагноза для пациентов. Ранняя и своевременная диагностика позволит улучшить оперативный контроль над болезнью в том числе и над минимальной остаточной болезнью.

Заключение

Статья посвящена применению искусственного интеллекта в телемедицинских технологиях диагностики онкологических заболеваний. Показан опыт использования телемедицинских технологий. В развитии данного подхода, полученный опыт успешно используется в решении фундаментальной задачи диагностики минимальной остаточной болезни.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-29-09115.

Литература

1. *Nikitaev V.G.* Experimental High-Technology Information-Measuring Complexes of Cancer Diagnosis: Problems and Key Points of the Construction Methodology. Measurement Techniques. 2015. Vol. 58. №2. P. 214-218.
2. *Nikitaev V.G.* Expert Systems in Information Measuring Complexes of Oncological Diagnoses. Measurement Techniques. 2015. Vol. 58. № 6. PP. 719-723.
3. *Nikitaev V.G.* Modern measurement principles in intellectual systems for a histological diagnosis of oncological illnesses. Measurement Techniques. 2015. Vol. 58. №4. PP. 467-470.
4. *Nikitaev V.G.* Methods and means of diagnostics of oncological diseases on the basis of pattern recognition: Intelligent morphological systems - Problems and solutions. Journal of Physics: Conference Series. 2017. Vol. 798. №1. PP. 012131.
5. Федеральный закон от 29.07.2017 № 242-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам применения информационных технологий в сфере охраны здоровья».
6. *Черновалов А. В., Баранов Д. Н.* Диффузия цифровых технологий, как ключевой фактор внедрения проекта «бережливая телемедицина» в сфере здравоохранения Российской Федерации // Московский экономический журнал. 2018. №4. С. 606-615.
7. *Путило Н. В., Волкова Н. С.* Телемедицина: потребности общества и возможности законодательства // Журнал российского права. 2018. №6 (258). С.124-135.
8. *Цветкова А.Б., Шишкин А.В.* Оценка восприятия цифровой медицины молодежным сегментом потребителей // Статистика и экономика. 2018. №6 с. 46-57
9. *Цвиркун А.Д.* Основы синтеза структуры сложных систем. – М.: Наука, 1997. – 256с.
10. *Цвиркун А.Д., Акинфиев В.К., Соловьев М.М.* Моделирование развития крупномасштабных систем. – М.: Экономика. 1983. – С.35-38.
11. *Коришунов В.Н.* Скорость передачи информации по оптическим магистральным кабелям. 2014 № 3 (346) – С. 19-20.