



Выявление жирового гепатоза с помощью компьютерного зрения при низкодозной компьютерной томографии органов грудной клетки в программе скрининга рака легкого

Захарова Д.К.¹, Нуднов Н.В.², Коденко М.Р.³, Решетников Р.В.³, Гончар А.П.³

¹ ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России, ул. Трубецкая, 8, стр. 2, Москва, 119435, Российская Федерация

² ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии», ул. Профсоюзная, 86, Москва, 117997, Российская Федерация

³ ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий» Департамента здравоохранения г. Москвы, ул. Петровка, 24, стр. 1, Москва, 127051, Российская Федерация

Захарова Дарья Константиновна, студентка ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России; <http://orcid.org/0000-0002-0640-2874>

Нуднов Николай Васильевич, д. м. н., профессор, зам. директора по научной работе, заведующий научно-исследовательским отделом комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России; <http://orcid.org/0000-0001-5994-0468>

Коденко Мария Романовна, мл. науч. сотр. отдела научных медицинских исследований ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий» ДЗМ; <https://orcid.org/0000-0002-0166-3768>

Решетников Роман Владимирович, к. ф.-м. н., начальник отдела научных медицинских исследований ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий» ДЗМ; <https://orcid.org/0000-0002-9661-0254>

Гончар Анна Павловна, мл. науч. сотр. отдела научных медицинских исследований ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий» ДЗМ; <https://orcid.org/0000-0001-5161-6540>

Резюме

Актуальность. Низкодозная компьютерная томография (НДКТ) органов грудной клетки (ОГК) применяется для скрининга рака легкого, но данные исследования можно использовать и для оценки состояния печени, в т.ч. выявления жирового гепатоза (ЖГ). Однако врачи-рентгенологи часто не проводят оценку изменений печени из-за концентрации внимания на ОГК.

Цель: определить выявляемость КТ-признаков ЖГ среди пациентов группы скрининга рака легкого с помощью системы компьютерного зрения (КЗ).

Материал и методы. Для ретроспективного исследования было отобрано 300 НДКТ ОГК пациентов из группы проекта скрининга рака легкого г. Москвы в период 2018–2020 гг. Анализ КТ-плотности печени проводили с применением системы КЗ, КТ-признаками ЖГ считали значения плотности печени < 40 НУ. Дополнительно выполнен анализ текстовых протоколов описания и заключений отобранных исследований. Проведено сравнение выявляемости КТ-признаков ЖГ врачами-рентгенологами и системой КЗ.

Результаты. В анализ включены данные 291 пациента, медиана возраста для всей выборки составила 65 [61; 70] лет. Среднее значение КТ-плотности печени определено на уровне $55,6 \pm 14,8$ НУ. Плотность печени < 40 НУ зафиксирована у 13% больных (23 (16,1%) мужчины и 14 (9,5%) женщины). Выявлена статистически достоверная разница между показателями плотности печени у этих пациентов ($p = 0,04$). В группу риска наличия ЖГ (40–45 НУ) вошли 6 (4,2%) мужчин и 4 (2,7%) женщины. При пересмотре текстовых протоколов описания исследований, в которых плотность печени составила < 40 НУ, во всех случаях отмечено отсутствие указания на патологию.

Заключение. Выявляемость КТ-признаков ЖГ среди пациентов группы скрининга рака легкого г. Москвы составила 13%. Отсутствие указаний на данную патологию в протоколах текстовых описаний подчеркивает актуальность применения систем КЗ в рутинной практике врача-рентгенолога.

Ключевые слова: низкодозная компьютерная томография; жировой гепатоз; компьютерное зрение; оппортунистический скрининг; скрининг рака легкого.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Захарова Д.К., Нуднов Н.В., Коденко М.Р., Решетников Р.В., Гончар А.П. Выявление жирового гепатоза с помощью компьютерного зрения при низкодозной компьютерной томографии органов грудной клетки в программе скрининга рака легкого. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2023; 104(1): 40–6. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2023-104-1-40-46>

Для корреспонденции: Гончар Анна Павловна, E-mail: anne.gonchar@gmail.com

Статья поступила 01.11.2022

После доработки 11.04.2023

Принята к печати 12.04.2023

Hepatic Steatosis Detection by Computer Vision During Chest Low-Dose Computed Tomography in Lung Cancer Screening Program

Daria K. Zakharova¹, Nikolay V. Nudnov², Maria R. Kodenko³, Roman V. Reshetnikov³, Anna P. Gonchar³

¹ *Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), ul. Trubetskaya, 8, str. 2, Moscow, 119435, Russian Federation*

² *Russian Scientific Center of Roentgenoradiology, ul. Profsoyuznaya, 86, Moscow, 117997, Russian Federation*

³ *Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, ul. Petrovka, 24, str. 1, Moscow, 127051, Russian Federation*

Daria K. Zakharova, Student, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); <http://orcid.org/0000-0002-0640-2874>

Nikolay V. Nudnov, Dr. Med. Sc., Professor, Deputy Director for Science, Head of Research Department of Complex Diagnostics of Diseases and Radiotherapy, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology; <http://orcid.org/0000-0001-5994-0468>

Maria R. Kodenko, Junior Researcher, Department of Scientific Medical Research, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies; <https://orcid.org/0000-0002-0166-3768>

Roman V. Reshetnikov, Cand. Phys-Math. Sc., Head of Department of Scientific Medical Research, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies; <https://orcid.org/0000-0002-9661-0254>

Anna P. Gonchar, Junior Researcher, Department of Scientific Medical Research, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies; <https://orcid.org/0000-0001-5161-6540>

Abstract

Background. Chest low-dose computed tomography (LDCT) is used in lung cancer screening, but the study data can also be used to assess the liver condition, including the hepatic steatosis (HS) detection. However, radiologists often do not pay attention to liver changes due to the focus on the chest.

Objective: to determine the prevalence of HS during chest LDCT among lung cancer screening patients using a computer vision (CV) system.

Material and methods. For a retrospective study, 300 chest LDCT were taken from Moscow lung cancer screening in 2018–2020. Hepatic attenuation analysis was performed by CV, the values < 40 HU were considered as HS. The text protocols of CT scans were analysed and compared with decreased hepatic attenuation revealed by CV system.

Results. 291 patients were analysed, the median age for the sample was 65 [61; 70] years. The mean hepatic attenuation was 55.6 ± 14.8 HU. Hepatic attenuation < 40 HU was found in 13% patients (23 (16.1%) males and 14 (9.5%) females), a statistically significant difference was revealed among these patients ($p = 0.04$). Six (4.2%) males and 4 (2.7%) females were at risk for HS (40–45 HU). The examination of text protocols showed no pathology discovered in all cases.

Conclusion. The prevalence of CT signs for HS among the lung cancer screening group in Moscow was 13%. The absence of HS in text protocols highlights the importance of using CV systems in the routine practice.

Keywords: low-dose computerized tomography, hepatic steatosis, computer vision, opportunistic screening, lung cancer screening.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

For citation: Zakharova DK, Nudnov NV, Kodenko MR, Reshetnikov RV, Gonchar AP. Hepatic steatosis detection by computer vision during chest low-dose computed tomography in lung cancer screening program. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2023; 104(1): 40–6 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2023-104-1-40-46>

For corresponding: Anna P. Gonchar, E-mail: anne.gonchar@gmail.com

Received November 1, 2022

Revised April 11, 2023

Accepted April 12, 2023

Введение

Жировой гепатоз (ЖГ), или стеатоз печени, – патологическое состояние, которое характеризуется жировой дистрофией ткани органа, накапливающей свободные жирные кислоты и триглицериды [1]. На сегодняшний день это заболевание – самая частая среди всех патологий печени, и его распространенность в мире неуклонно растет [2]. В литературе имеются данные о влиянии стеатоза на течение и дебют сердечно-сосудистых заболеваний, сахарный диабет 2-го типа, колоректального рака, хронической болезни почек [3–6].

Существует несколько методов инструментальной диагностики ЖГ, одним из которых является компьютерная томография (КТ) [7, 8]. Использование низкодозной КТ (НДКТ) позволяет добиться высокой диагностической эффективности в выявлении ЖГ при снижении дозы лучевой нагрузки [9]. Достоверно жировая дистрофия органа определяется при снижении плотности печени менее 40 HU (Hounsfield units – единицы по шкале Хаунсфилда). Следует отметить, что выявление КТ-признаков ЖГ возможно при проведении КТ не только органов брюшной полости, но и органов грудной клетки (ОГК), когда видна только часть печени под правым куполом диафрагмы [10, 11]. Однако проблема выявления данного патологического состояния заключается в том, что при анализе изображений КТ ОГК внимание рентгенологов в первую очередь направлено на целевые органы (грудной клетки и средостения), что повышает вероятность пропуска врачом видимых изменений печени, даже если они попадают в зону исследования [12]. Решением данной проблемы может являться использование автоматизированных систем.

Существует целый спектр математических алгоритмов для анализа денситометрических показателей печени. Большинство из них способны анализировать только те исследования, в которых печень определяется в полном объеме или же при сканировании используется внутривенное контрастное усиление [13–17]. При этом единичные алгоритмы по данным нативных НДКТ-изображений ОГК могут выявлять КТ-признаки ЖГ [18].

Учитывая диагностические возможности КТ-аппаратов и высокую распространенность ЖГ, следует уделить особое внимание выявлению патологий печени. Опыт зарубежных авторов показал, что дополнительные находки в нецелевых

органах по данным НДКТ и КТ позволяют повысить информативность исследований, а также оптимизировать маршрутизацию пациентов [19, 20].

Цель – определить выявляемость КТ-признаков ЖГ среди пациентов группы скрининга рака легкого с помощью системы компьютерного зрения (КЗ).

Материал и методы

В соответствии с поставленной целью задачи исследования являлись:

– проведение анализа исследований НДКТ ОГК при помощи КЗ на предмет наличия КТ-признаков ЖГ;

– сравнение полученных данных с данными заключений врачей-рентгенологов.

Дизайн исследования. Исследование являлось ретроспективным, в связи с чем дополнительное информированное согласие пациентов не требовалось. Для оценки выявляемости КТ-признаков ЖГ при проведении скрининговой программы рака легкого мы использовали систему КЗ для автоматического измерения плотности печени по данным КТ, а также анализировали данные текстовых заключений отобранных КТ-исследований. Далее сравнивали полученные результаты КТ-исследований с выявленной сниженной плотностью печени с протоколами описания. По итогам проведенной работы определили выявляемость КТ-признаков ЖГ, а также провели оценку эффективности системы КЗ в выявлении данной патологии для исследований НДКТ ОГК.

Критерии включения: наличие НДКТ ОГК, а также протокола описания исследования.

Критерии исключения: КТ-изображения, содержащие признаки аномалии строения печени, наличие металлических и инородных включений на уровне печени, некорректно выполненные исследования при наличии выраженных двигательных артефактов, нарушениях укладки (расположенных при исследовании вдоль туловища руках), КТ-изображения с некорректно оконтуренной печенью после обработки КЗ (в области сегментации захвачены рядом расположенные органы или мягкие ткани, выделено менее 2/3 видимого объема печени).

Пациенты. Обработаны данные НДКТ ОГК пациентов, принявших участие в пилотном проекте скрининга рака легкого в г. Москве в период

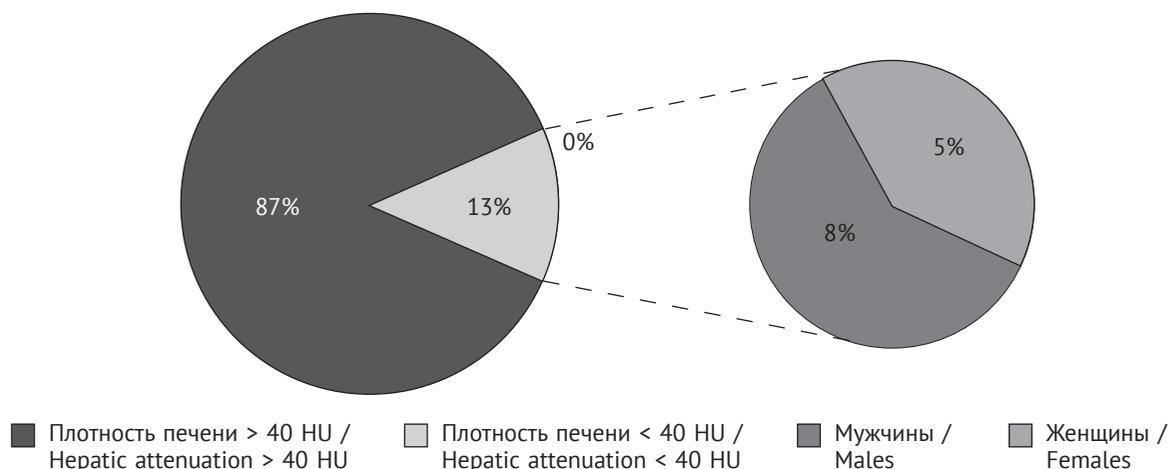


Рис. 1. Процентное соотношение подгрупп, выделенных по результатам исследования КТ-плотности печени, с данными распределения по полу в группе с плотностью печени < 40 HU

Fig. 1. The percentage ratio of the subgroups identified by the results of CT hepatic attenuation study with gender distribution data in the group with values < 40 HU

2018–2020 гг. Все отобранные больные входили в группу риска рака легкого в соответствии со следующими критериями: возраст от 55 до 74 лет, бессимптомные лица (кроме симптомов, связанных с курением), имеют индекс курения «пачка/лет» более 30, продолжение курения или отказ от курения в течение последних 15 лет¹.

Протокол сканирования. НДКТ-исследования выполняли на двух моделях 64-срезовых томографов Toshiba Aquilion 64 и Toshiba Aquilion CLX (Canon Medical Systems, Япония) без применения алгоритмов итеративной реконструкции со следующими параметрами настройки: коллимация 0,5 × 64, напряжение трубки 135 кВ, толщина срезов 1 мм, мягкотканная КТ-реконструкция (FC07). Показатели тока трубки, компьютерно-томографического индекса дозы, скорости ротации трубки варьировали с зависимости от выбранного в соответствии с массой тела пациента протокола сканирования. Сканирование ОГК проводили в диапазоне от верхушек легких до плевральных синусов, за счет чего в область исследования включали верхние отделы брюшной полости.

Система компьютерного зрения. Для автоматической оценки КТ-плотности печени использовали разработанную нами ранее систему КЗ CTLiverExam². С ее помощью возможна оценка

КТ-плотности печени по данным бесконтрастных изображений в условиях неполной визуализации органа. Обработка данных проводится в пакетном режиме, при котором выполняется автоматический анализ большого массива данных. Результат выдается в виде таблицы с данными о средней плотности сегментированной печени, стандартного отклонения и степени неоднородности.

Анализ протоколов описания. Анализ осуществляли при помощи фильтрации текстовых протоколов описания и заключений исследований по ключевым словам и словосочетаниям «жировой гепатоз», «жировая дистрофия печени», «жировая инфильтрация», «липидистрофия», «стеатоз печени» с последующим пересмотром отобранных исследований.

Статистический анализ. Для оценки выявляемости признаков жировой дегенерации печени использовали описательные методы статистики с указанием следующих характеристик: число непропущенных значений, минимальное и максимальное значения, арифметическое среднее, стандартное отклонение, 95% доверительный интервал для среднего, медиана. Уровень значимости принимали равным 0,05. Дополнительно проведено сравнение между числом и долей субъектов с пониженной плотностью печени, которая определялась как абсолютное значение < 40 HU. Статистическая обработка выполнена с помощью программы Stata 14.

Результаты

Для анализа отобраны 300 исследований НДКТ. Три исследования исключили по причине отсутствия протоколов описания в системе базы данных, 6 – по причине ошибки оконтуривания печени.

¹ Патент RU 2701922 «Способ скрининга рака легкого с помощью ультранизкодозной компьютерной томографии у пациентов с массой тела до 69 кг».

² Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019660983 «Программа сегментации изображения печени и определения рентгеновской плотности печени CTLiverExam».

Сравнение данных плотности печени при низкодозной компьютерной томографии органов грудной клетки, полученных автоматическим методом, для мужчин и женщин

Comparison of hepatic attenuation data of chest low-dose computed tomography obtained by automatic method for men and women

Параметр / Parameter	Мужчины / Males	Женщины / Females
Число непропущенных значений, n / Number of non-missing values, n	143	142
Плотность печени, HU / Hepatic attenuation, HU		
средняя / mean	54,57	56,60
стандартное отклонение / standard deviation	14,81	14,85
95% доверительный интервал / 95% confidence interval	50,61–57,54	50,17–59,73
минимальная / minimum	0,5	–5,0
максимальная / maximum	83,7	87,0
медиана / median	56,90	59,25
Плотность печени, n (%) / Hepatic attenuation, n (%)		
< 40 HU	23 (16,08)	14 (9,46)
40–45 HU	6 (4,20)	4 (2,70)
Разница во всей группе / Difference in the whole group	p = 0,30; t = 1,02; df = 287,9	
Разница в группе с плотностью печени < 40 HU / Difference in the group with hepatic attenuation < 40 HU	p = 0,04; t = –2,16; df = 23,05	

Таким образом, в анализ включены данные 291 пациента, из которых 51% составляли женщины.

Показатель медианы возраста для всей выборки пациентов составил 65 [61; 70] лет (65 [60; 69] лет для женщин и 66 [61; 71] лет для мужчин). Среднее значение КТ-плотности печени в 291 оставшемся КТ-исследовании составило $55,6 \pm 14,8$ HU. Отсутствовала статистически значимая разница ($p = 0,30$; $t = 1,02$; $df = 287,9$) между средними значениями плотности печени у женщин ($56,6 \pm 14,8$ HU) и мужчин ($54,6 \pm 14,8$ HU). Плотность печени менее 40 HU зафиксирована у 13% пациентов (23 (16,1%) мужчины и 14 (9,5%) женщин) (рис. 1). При

этом выявлена статистически достоверная разница между показателями плотности печени у этих пациентов ($p = 0,04$; $t = -2,16$; $df = 23,05$). Кроме того, в группе риска ЖГ (значения плотности печени в диапазоне 40–45 HU) находились 6 (4,2%) мужчин и 4 (2,7%) женщины (см. табл.).

При пересмотре протоколов профессионального описания врачами-рентгенологами НДКТ-исследований, в которых была определена сниженная плотность печени менее 40 HU, во всех 37 случаях выявлено отсутствие указания на патологию в текстовом протоколе (рис. 2).

Обсуждение

Выявляемость КТ-признаков ЖГ среди пациентов группы скрининга рака легкого г. Москвы составила 13%. В протоколах описания выявленной группы пациентов не было указаний на наличие данной патологии.

Проведенное нами исследование демонстрирует высокую выявляемость признаков ЖГ при скрининге среди пациентов группы риска развития рака легкого. Полученный результат значительно превышает аналогичный показатель для выборки из 170 участников исследования MS-ELCAP (Mount Sinai Early Lung and Cardiac Action Program, Нью-Йорк, США), который составил 5,3% [20]. Каждый из участников этого исследования также входил в группу риска развития рака легкого и обладал длительной историей курения (средний возраст пациентов составлял 62 года (55% женщин), в нашем исследовании – 65 лет (51% женщин)). Таким образом, несмотря

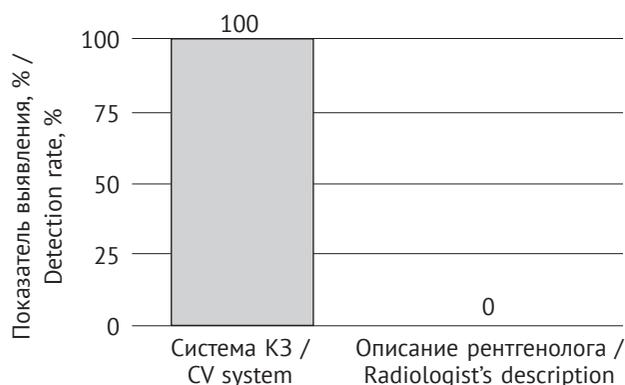


Рис. 2. Процентное соотношение показателей выявления сниженной плотности печени < 40 HU с помощью системы компьютерного зрения (КЗ) и при профессиональном описании врачей-рентгенологов

Fig. 2. Percentage ratio of reduced hepatic attenuation < 40 HU detection using a computer vision (CV) system and in professional description of radiologists

на довольно схожие данные популяций пилотного проекта скрининга рака легкого г. Москвы и MS-ELCAP, встречаемость ЖГ в московской выборке была в 2,4 раза выше, чем в американской, т.е. уровень здоровья участников исследования MS-ELCAP был заведомо выше.

Ранее X. Chen et al. обнаружили повышенную встречаемость ЖГ (16,2%) у жертв террористической атаки на Центр международной торговли, подвергшихся воздействию гепатотоксичных веществ, в рамках проведения скрининга рака легкого [21]. Авторы определили, что среди жертв атаки в 3 раза чаще встречались КТ-признаки ЖГ, так же как и повышенный индекс массы тела (ИМТ). Они подчеркивают наличие прямой связи повышенного ИМТ респондентов с частотой встречаемости ЖГ. В нашем исследовании отсутствовали данные ИМТ, однако мы предполагаем, что возможное наличие повышенного ИМТ у пациентов представленной выборки могло отразиться на полученных результатах.

В другом исследовании по оценке плотности печени по данным нативной КТ органов брюшной полости у пациентов из группы скрининга колоректального рака выявляемость выраженного ЖГ в исследуемой группе населения составила 8,8% (1025 из 11 669 человек), тогда как КТ-признаки тяжелого ЖГ (менее 18 HU) были определены для 1% (112 из 11 669 человек) [22]. В этом контексте полученные в нашей работе данные позволяют предположить, что в г. Москве пациенты из группы риска развития рака легкого находятся в зоне действия факторов, значительно увеличивающих вероятность развития ЖГ.

В нашем исследовании среднее значение КТ-плотности печени составило $55,6 \pm 14,8$ HU, что соответствует диапазону нормальной плотности органа, но несколько ниже, чем в исследовании американской популяции, для которой проводили оппортунистический скрининг гемохроматоза ($59,4 \pm 12,7$ HU) [23]. В свою очередь, средние показатели плотности печени среди участников исследования MS-ELCAP и участников

скрининга рака прямой кишки также отличаются от полученных нами данных и составляют $57,6 \pm 9,3$ и $59,4 \pm 9,3$ HU соответственно [20, 23]. При этом отличия не являются ограничением для прямого взаимного переноса лечебных рекомендаций и профилактических мер.

Отсутствие указаний на КТ-признаки снижения плотности печени во всех случаях, когда разработанной нами системой КЗ определялось диффузное снижение плотности печени, свидетельствует о наличии проблемы низкой выявляемости врачами-рентгенологами данного патологического состояния при анализе исследований НДКТ ОГК. Этот факт может быть обусловлен перенаправлением внимания врача-рентгенолога именно на выявление патологических очагов в легких в рамках целевого скрининга, при этом изменения в других органах области исследования могут быть пропущены.

Таким образом, использование автоматизированных систем для выявления ЖГ, таких как системы искусственного интеллекта или КЗ, позволит оптимизировать данный процесс без дополнительных временных затрат врачей отделений лучевой диагностики. Мы ожидаем, что при применении системы КЗ для выявления КТ-признаков ЖГ в рутинной практике поток пациентов, направляемых на консультацию к гастроэнтерологу для уточнения наличия жировой дегенерации печени, ее этиологии и последующего определения маршрутизации, увеличится на 13%.

Заключение

Результаты нашей работы показывают, что применение автоматизированных систем для анализа изображений НДКТ ОГК обоснованно и приводит к повышению эффективности работы врачей-рентгенологов. Помимо этого, внедрение систем для автоматической обработки данных лучевой диагностики ускоряет процесс постановки диагноза ЖГ, а следовательно, ориентирует пациентов на дальнейшее обследование и изменение образа жизни.

Литература [References]

1. Струков А.И., Серов В.В. Патологическая анатомия. М.: Литтерра; 1995: 491–4. [Strukov AI, Serov VV. Pathological anatomy. Moscow: Litterra; 1995: 491–4 (in Russ.).]
2. EASL-EASD-EASO Clinical Practice Guidelines for the management of non-alcoholic fatty liver disease. *J Hepatol.* 2016; 64(6): 1388–402. <http://doi.org/10.1016/j.jhep.2015.11.004>.
3. Armstrong MJ, Adams LA, Canbay A, Syn WK. Extrahepatic complications of nonalcoholic fatty liver disease. *Hepatology.* 2014; 3(59): 1174–97. <http://doi.org/10.1002/hep.26717>.
4. Mikolasevic I, Milic S, Turk Wensveen T, et al. Nonalcoholic fatty liver disease – a multisystem disease? *World J Gastroenterol.* 2016; 22(43): 9488–505. <http://doi.org/10.3748/wjg.v22.i43.9488>.
5. Del Ben M, Baratta F, Pastori D, Angelico F. The challenge of cardiovascular prevention in NAFLD. *Lancet Gastroenterol Hepatol.* 2021; 6(11): 877–8. [http://doi.org/10.1016/S2468-1253\(21\)00337-X](http://doi.org/10.1016/S2468-1253(21)00337-X).
6. Kasper P, Lang S, Demir M, Steffen HM. Optimising the management of cardiovascular comorbidities in NAFLD patients: it's time to (re-)act! *Gut.* 2022; 71(11): 2365–6. <http://doi.org/10.1136/gutjnl-2021-326662>.

7. Bulut MD, Özdemir H, Bora A, et al. Comparison of computed tomography densitometry and shear wave elastography velocity measurements for evaluation of the liver volume in the nonalcoholic fatty liver disease. *Int J Clin Exp Med*. 2016; 6(9): 10159–69.
8. Graffy PM, Pickhardt PJ. Quantification of hepatic and visceral fat by CT and MR imaging: relevance to the obesity epidemic, metabolic syndrome and NAFLD. *Br J Radiol*. 2016; 89(1062): 20151024. <http://doi.org/10.1259/bjr.20151024>.
9. Блохин И.А., Лайпан А.Ш. Методические рекомендации по скринингу рака легкого. М.: Радиология Москвы; 2020: 60 с. [Blokhin IA, Laypan AS. Methodological recommendations for lung cancer screening. Moscow: Radiologia Moskvy; 2020: 60 pp. (in Russ.)]
10. Onuma Y, Tanabe K, Nakazawa G, et al. Noncardiac findings in cardiac imaging with multidetector computed tomography. *J Am Coll Cardiol*. 2006; 48(2): 402–6. <http://doi.org/10.1016/j.jacc.2006.04.071>.
11. Vierikko T, Järvenpää R, Autti T, et al. Chest CT screening of asbestos-exposed workers: lung lesions and incidental findings. *Eur Respir J*. 2007; 29(1): 78–84. <http://doi.org/10.1183/09031936.00073606>.
12. Kullberg J, Hedström A, Brandberg J, et al. Automated analysis of liver fat, muscle and adipose tissue distribution from CT suitable for large-scale studies. *Sci Rep*. 2017; 7(1): 10425. <http://doi.org/10.1038/s41598-017-08925-8>.
13. Liao M, Zhao YQ, Liu XY, et al. Automatic liver segmentation from abdominal CT volumes using graph cuts and border marching. *Comput Methods Programs Biomed*. 2017; 143: 1–12. <http://doi.org/10.1016/j.cmpb.2017.02.015>.
14. Huang Q, Ding H, Wang X, Wang G. Fully automatic liver segmentation in CT images using modified graph cuts and feature detection. *Comput Biol Med*. 2018; 95: 198–208. <http://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2018.02.012>.
15. Wu W, Zhou Z, Wu S, Zhang Y. Automatic liver segmentation on volumetric CT images using supervoxel-based graph cuts. *Comput Math Methods Med*. 2016; 2016: 9093721. <http://doi.org/10.1038/s41598-018-28787-y>.
16. Spinczyk D, Krasoń A. Automatic liver segmentation in computed tomography using general-purpose shape modeling methods. *Biomed Eng Online*. 2018; 17(1): 65. <http://doi.org/10.1186/s12938-018-0504-6>.
17. Shin YJ, Chang W, Ye JC, et al. Low-dose abdominal CT using a deep learning-based denoising algorithm: a comparison with CT reconstructed with filtered back projection or iterative reconstruction algorithm. *Korean J Radiol*. 2020; 21(3): 356–64. <http://doi.org/10.3348/kjr.2019.0413>.
18. Pickhardt PJ, Lubner MG, Kim DH, et al. Abdominal CT with model-based iterative reconstruction (MBIR): initial results of a prospective trial comparing ultralow-dose with standard-dose imaging. *AJR Am J Roentgenol*. 2012; 99(6): 1266–74. <http://doi.org/10.2214/AJR.12.9382>.
19. Boyce CJ, Pickhardt PJ, Kim DH, et al. Hepatic steatosis (fatty liver disease) in asymptomatic adults identified by unenhanced low-dose CT. *AJR Am J Roentgenol*. 2010; 194(3): 623–8. <http://doi.org/10.2214/AJR.09.2590>.
20. van de Wiel JC, Wang Y, Xu DM, et al. Neglectable benefit of searching for incidental findings in the Dutch-Belgian lung cancer screening trial (NELSON) using low-dose multidetector CT. *Eur Radiol*. 2007; 17(6): 1474–82. <http://doi.org/10.1007/s00330-006-0532-7>.
21. Chen X, Ma T, Yip R, et al. Elevated prevalence of moderate-to-severe hepatic steatosis in World Trade Center General Responder Cohort in a program of CT lung screening. *Clin Imaging*. 2020; 60(2): 237–43. <http://doi.org/10.1016/j.clinimag.2019.12.009>.
22. Graffy PM, Sandfort V, Summers RM, Pickhardt PJ. Automated liver fat quantification at nonenhanced abdominal CT for population-based steatosis assessment. *Radiology*. 2019; 293(2): 334–42. <http://doi.org/10.1148/radiol.2019190512>.
23. Lawrence EM, Pooler BD, Pickhardt PJ. Opportunistic screening for hereditary hemochromatosis with unenhanced CT: determination of an optimal liver attenuation threshold. *AJR Am J Roentgenol*. 2018; 211(6): 1206–11. <http://doi.org/10.2214/AJR.18.19690>.