

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ АВТОМАТОЛОГИЧЕСКОГО ОБНАРУЖЕНИЯ НОВООБРАЗОВАНИЙ ПРИ ВИРТУАЛЬНОЙ КОЛОНОСКОПИИ В ЭПОХУ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА. ОМСКИЙ ОПЫТ И ОБЗОР ПЕРСПЕКТИВ

Хомутова Е. Ю.

ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет» МЗ РФ

3.1.25 - Лучевая диагностика
(медицинские науки)

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

- полипы
- колоректальный рак
- мультidetекторная компьютерная томография
- компьютерная диагностика
- автоматическое обнаружение
- виртуальная колоноскопия
- КТ-колонография

АННОТАЦИЯ:

Введение: виртуальная колоноскопия (ВКС) или КТ-колонография (КТК) - это признанная методика неинвазивной диагностики толстой кишки, активно используемая для обнаружения полипов до того, как они малигнизируются в колоректальный рак. Программа автоматического обнаружения новообразований (АОН) или CAD Colon (англ. computer-aided detection) предназначена для уменьшения ошибок обнаружения новообразований путем автоматического поиска и отображения (маркировки цветом) кандидатов на полипы и другие новообразования, с последующей более детальной оценки врачом-рентгенологом. Ложноположительные результаты программы АОН (CAD Colon) при ВКС распространены и имеют множество причин. Относительная частота ложноположительных результатов АОН и их влияние на эффективность интерпретации врачом показывают, что подавляющее большинство ложноположительных результатов АОН (CAD Colon) легко не принимать во внимание, в том числе те, которые являются результатом утолщения слизистой оболочки, артефактами изображения от активной перистальтики, активных и глубоких дыхательных движений пациента, от проминирующих в просвет кишки дивертикулов, ректальных трубок и липом. Кандидаты в полипы размерами менее 6 мм, маркированные цветом и которые нельзя исключить из исследования при АОН (CAD Colon), являются еще одной распространенной причиной ложноположительных результатов, что может привести к дальнейшему обследованию с помощью повторной ВКС или эндоскопической колоноскопии. Опыт использования и совершенствование новых компьютерных технологий являются стратегией для повышения эффективности ВКС при выявлении новообразований толстой кишки, прежде всего полипов разных размеров, чтобы избежать ошибок, связанных с распространенными источниками ложноположительных результатов ВКС.

Цель: представить собственный многолетний опыт использования программы искусственного интеллекта - автоматического определения новообразований, АОН (или CAD - computer-aided detection) при виртуальной колоноскопии (ВКС), дать обзор основных ложноположительных результатов и их причины, а также представить мониторинг перспективных возможностей повышения чувствительности и специфичности автоматического диагностического поиска с помощью новых компьютерных программ ИИ.

Материал и методы: в ретроспективное исследование были включены 279 человек, в возрасте от до 42-83 года, проходившие ВКС, с последующим использованием программы АОН (CAD Colon) в разных схемах использования. Для проведения ВКС использовался стандартный алгоритм методики. Всем пациентам была проведена очистительная подготовка к ВКС. Половине из общей выборки пациентов проводили маркировку резидуального кишечного содержимого и оставшейся жидкости. ВКС всем пациентам проводилась на спине и на животе. Инсуффляция толстой кишки проводилась смесью газов (комнатный воздух и углекислый газ), с введением через ректальный катетер. КТ-исследования проводились с помощью МДКТ-аппаратов Brilliance фирмы Philips Healthcare (числом детекторов от 8 до 64), с использованием технических параметров, подобранных индивидуально. Интерпретация ВКС всех пациентов выполнялась на рабочей станции, с использованием программ Virtual Colon и Colon CAD (software Philips Healthcare).

Результаты: ретроспективно была оценена проспективная клиническая эффективность использования программы АОН (CAD) при ВКС для обнаружения колоректальных полипов разных размеров в рутинной клинической практике врачами рентгенологами разного опыта работы. Систематизировались и анализировались причины ложноположительных результатов при использовании программы АОН (CAD Colon). Был произведен общий и средний тайминг ВКС, рассчитано время на интерпретацию КТ-изображений с использованием программы АОН. Произведен расчет средних показателей для врачей-рентгенологов с разным опытом работы.

*Адрес для корреспонденции (Correspondence to): Хомутова Елена Юрьевна (Khomutova E. Yu.), mail: elenahomutova68@gmail.com

Заключение: представлены результаты собственного многолетнего использования программы АОН (CAD Colon) при ВКС, для автоматического поиска новообразований. Использование программы АОН (CAD Colon) в рутинной практике повышает чувствительность метода до 92% в выявлении полипов с размерами от 6 мм и до 98% в выявлении полипов с размерами более 10 мм. Опираясь на апробацию новых компьютерных технологий и уже имеющийся собирательный опыт использования программы АОН при ВКС, особенно в рамках «второго чтения», уже в ближайшей перспективе можно рассчитывать на значительное уменьшение ложноположительных результатов, с возможностью оптимально регулировать рабочую нагрузку врачей-рентгенологов, снижать зависимость от таких факторов, как физическая зрительная усталость или малоопытность врача, даже при значительном увеличении КТ-исследований.

Для цитирования. Хомутова Е.Ю. «РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ АВТОМАТОЛОГИЧЕСКОГО ОБНАРУЖЕНИЯ НОВООБРАЗОВАНИЙ ПРИ ВИРТУАЛЬНОЙ КОЛОНОСКОПИИ В ЭПОХУ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА. ОМСКИЙ ОПЫТ И ОБЗОР ПЕРСПЕКТИВ». Ж. ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ И ИНТЕРВЕНЦИОННАЯ РАДИОЛОГИЯ. 2024; 18(2.1): 54–61.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR AUTOMATIC DETECTION OF NEW TUMORS DURING VIRTUAL COLONOSCOPY IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE. OMSK EXPERIENCE AND REVIEW OF PROSPECTS

Khomutova E. Yu.

FSBEI of HPE «Omsk state medical University» Ministry of Healthcare of the Russian Federation

KEY-WORDS:

- polyps
- colorectal cancer
- multidetector computed tomography
- computer diagnostics
- automatic detection
- virtual colonoscopy
- CT-colonography

ABSTRACT:

Introduction: virtual colonoscopy (VCS) or CT colonography (CTC) is an established technique for non-invasive diagnosis of the colon, actively used to detect polyps before they malignize into colorectal cancer. The automatic detection of tumors (ADT) program or CAD Colon (computer-aided detection) is designed to reduce tumor detection errors by automatically searching and displaying (color marking) candidates for polyps and other tumors, followed by a more detailed assessment by a radiologist. False-positive results from the CAD Colon program for VCS are common and have many causes. The relative frequency of false-positive ADT results and their impact on the efficiency of physician interpretation indicate that the vast majority of false-positive ADT (CAD Colon) results are easily discounted, including those that result from mucosal thickening, image artifacts from active peristalsis, active and deep respiratory movements of the patient, diverticula, rectal tubes, and lipomas protruding into the intestinal lumen. Color-coded polyp candidates smaller than 6 mm that cannot be excluded from CAD Colon are another common cause of false-positive results, which may lead to further evaluation with repeat VCS or endoscopic colonoscopy. Experience in the use and improvement of new computer technologies is a strategy for increasing the effectiveness of VCS in identifying colon neoplasms, primarily polyps of different sizes, in order to avoid errors associated with common sources of false-positive VCS results.

Aim: was to present our own long-term experience in using the artificial intelligence program - automatic detection of tumors, ADT (or CAD - computer-aided detection) during virtual colonoscopy (VCS), give an overview of the main false-positive results and their causes, and present monitoring of promising opportunities for increasing the sensitivity and specificity of automatic diagnostic search using new AI computer programs.

Material and methods: the retrospective study included 279 people, aged 42-83 years, who underwent VCS, followed by the use of the ADT program (CAD Colon) in different schemes of use. To conduct videoconferencing, a standard method algorithm was used. All patients underwent cleansing preparation for VCS. Half of the total sample of patients underwent labeling of residual intestinal contents and remaining fluid. VCS was performed on the back and stomach in all patients. Insufflation of the colon was carried out with a mixture of gases (room air and carbon dioxide), administered through a rectal catheter. CT studies were carried out using Brilliance MDCT devices from Philips Healthcare (with detectors ranging from 8 to 64), using technical parameters selected individually. Interpretation of the VCS of all patients was performed on a workstation using Virtual Colon and Colon CAD programs (Philips Healthcare software).

Results: the prospective clinical effectiveness of the use of the CAD program for VCS for the detection of colorectal polyps of different sizes in routine clinical practice by radiologists of different experience was retrospectively assessed. The causes of false positive results when using the Caller ID program (CAD Colon) were systematized and analyzed. The general and average VCS timing was performed, and the time for interpretation of CT images was calculated using the Caller ID program. The average indicators were calculated for radiologists with different work experiences.

Conclusion: results of our own long-term use of the ADT program (CAD Colon) for videoconferencing for automatic search for tumors are presented. The use of the AON program (CAD Colon) in routine practice increases the sensitivity of the method to 92% in detecting polyps with sizes from 6 mm and up to 98% in identifying polyps with sizes more than 10 mm. Based on the testing of new computer technologies and the existing cumulative experience of using the AON program for VCS, especially within the framework of the «second reading», in the near future we can count on a significant reduction in false positive results, with the ability to optimally regulate the workload of radiologists, reduce dependence on factors such as physical-visual fatigue or lack of experience of the doctor, even with a significant increase in CT examinations.

Введение

Колоректальный рак (КРР) сохраняет высокие показатели заболеваемости и смертности в России и мире [1]. Ежегодно в Российской Федерации регистрируется в среднем более 39 тыс. новых случаев, показатели смертности от КРР определяются на третьей позиции в структуре общих показателей летальности в стране [2]. Виртуальная колоноскопия (ВКС) или КТ-колонография (КТК) - методика КТ-диагностики новообразований, аномалий развития, дивертикулов и воспалительных поражений толстой кишки [3,4]. Приоритетным направлением ВКС является выявление неопластических изменений толстой кишки, в первую очередь полипов средних и больших размеров, для последующего их хирургического удаления [3-5]. В клинической практике во многих российских больницах ВКС уже используется в качестве освоенной рутинной диагностической процедуры, особенно в массовом поисковом варианте полипов и КРР, как альтернатива эндоскопической колоноскопии [3,4,6,7].

Увеличение количества ВКС требует большого количества специалистов (при наличии соответствующего опыта и уровня знаний), а длительность протяжения одного КТК-исследования и сокращение времени на просмотр большого количества изображений у одного пациента (при сохранении обязательств качественного анализа результатов у всех пациентов) требуют постоянного внимания и резко увеличивают физическое зрительное напряжение врача-рентгенолога [4,6,8].

Компьютерные программы для автоматического поиска новообразований (CAD) для ВКС разрабатываются уже более двадцати лет [9,10]. В настоящее время программа CAD Colon, преимущественно установленная производителями КТ-оборудования на рабочих станциях, достаточно точна, чтобы клинически значимые полипы размерами 8-10 мм и более могли быть обнаружены с чувствительностью в среднем - 90% и более. Фокус исследований в разработке новых программ ИИ смещен на повышение чувствительности методики для автоматического обнаружения полипов меньшего размера, различной формы, для снижения количества ложноположительных результатов для продолжения интеграции ВКС в клиническую практику при снижении зависимости результатов исследования от облегчения подготовки пациентов к нему (в частности, для определения маркировки фекалий в случае неполной или отсутствия очистительной подготовки) [9-12]. Выявление пациентов с риском развития злокачественных новообразований (в частности, при семейном аденоматозе-полипозе) и направление их на программы персонализированного обследования в рамках онконастороженности является одной из важнейших задач современной онкологии и лучевой диагностики. В сочетании с клиническими данными эта информация облегчает выявление пациентов, у которых, в частности, может быть высокой вероятностью малигнизации полипов толстой кишки, в связи с их ростом [10,11,13]. Алгоритмы искусственного интеллекта позволяют получать клинически важные предикторы на основе общих и часто слабо коррелирующих характеристик изображений [14-16]. Это динамично развивающаяся область исследований, требую-

щая использования самых современных методов обработки изображений и машинного обучения, а главное - накопление и обобщение практического диагностического опыта, с созданием и отработкой новинок ИИ на крупных дата-сетях в лучевой диагностике [17,18]. Оптимизированные приложения по CAD при ВКС можно использовать для управления рабочей нагрузкой, снижения профессионального и физического переутомления, при сохранении качественного анализа при массовых КТ-исследованиях толстой кишки [17-19].

Цель: представить собственный многолетний опыт использования методики искусственного интеллекта - программы автоматического определения новообразований, АОН (или CAD - computer-aided detection) при виртуальной колоноскопии (ВКС), дать обзор основных ложноположительных результатов, их причин, и представить краткий обзор перспективных возможностей повышения чувствительности и специфичности автоматического диагностического поиска с помощью новых компьютерных программ искусственного интеллекта.

Материал и методы

Пациенты

В ретроспективное исследование (из научной архивной базы за 2012-2018 гг.), были рандомно (последовательно, по списку) выбраны 279 взрослых пациента в возрасте 42-83 года (средний возраст - 67 лет), с общеклинического приема первичного звена (с наличием полного архива клинической истории болезни). При первичном посещении пациенты имели жалобы на проблемы общего снижения нормального самочувствия (субфебрильная температура в течение нескольких недель, функциональные нарушения работы кишечника). ВКС была проведена всем пациентам, программу CAD Colon в двух сериях не удалось использовать у 29 пациентов, они были исключены из выборки. Всего в окончательную выборку были включены 250 человек.

Проведение ВКС (КТ-колонографии)

Использовалась стандартный алгоритм КТ-методики, подробно описанный в работах [3,4,7]. Почти всеми пациентами была выбрана полная очистительная подготовка толстой кишки к ВКС (с помощью препаратов полиэтиленгликоля, солевых слабительных и других препаратов); 30 человек выбрали вариант очищения толстой кишки с помощью постановки клизм - «до чистой воды». Половина пациентов из выборки соблюдала временной промежуток (4-5 часов) до проведения ВКС для «высушивания толстой кишки», половине пациентов маркировали остаточную жидкость и резидуальное кишечное содержимое с помощью 2,1% сульфата бария (по массе, в разведении) и с приемом натрия амидотризоата (Урографин, Bayer) в разведении. Во время ВКС инфуляция толстой кишки проводилась с помощью модернизированного устройства по типу аппарата Боброва, которое позволяет контролировать давление и объем вводимого газа [20]. Вводилась комбинация смеси газов (комнатный воздух и углекислый газ в соотношении пропорции 2:1) через ректальный катетер. Перед проведением ВКС пациентам внутримышечно был

поставлен спазмолитический препарат (Дротаверин) за 0,5-1 час до исследования. Во время КТ-сканирования подавалась голосовое сообщение о необходимости ровного неглубокого дыхания, чтобы исключить (значительно сократить) дыхательные артефакты. Всем пациентам ВКС проводилась в 2 положениях: на спине и на животе. КТ-исследования проводились с помощью МДКТ-аппаратов Brilliance фирмы Philips Healthcare (числом детекторов от 8 до 64), с использованием коллимации 1,25 мм, интервала реконструкции 1-1,5 мм, напряжения 120 кВ и модуляции тока трубки (диапазон 30-300 мА) - при выборе для пациентов разных конституциональных групп и оптимизации лучевой нагрузки [21]. Интерпретация ВКС всех пациентов выполнялась на рабочей станции, с использованием программ Virtual Colon и Colon CAD (software Philips Healthcare). Интерпретация ВКС проводилась у всех пациентов в 2 положениях, с использованием разных окон обзора, при одновременном анализе 2Д-программ (аксиальные срезы, МПР) и пакете 3Д-программ, в качестве средства обнаружения полипа (полипов), при использовании преимущественно мультиокон компьютерного обзора.

Первоначальная схема исследования предполагала осмотр и анализ ВКС у 125 пациентов рентгенологом с большим опытом работы (4-6 лет опыта работы с ВКС). После завершения первичного анализа ВКС врачом-рентгенологом, использовалась программа Colon CAD (Extended Brilliance Workspace, версия 3.5.0.2250:5 и IntelliSpace Portal - Philips Healthcare), как «второе чтение» ВКС. Метки, идентифицированные программой CAD Colon (т.е. потенциальные поражения), были тщательно проверены интерпретирующим рентгенологом с использованием 2Д- или 3Д-программ для интерпретации изображений (или с использованием этих программ в комбинации).

Повторная схема (второй вариант) предполагала подобный алгоритм первоначальному КТ-осмотру и анализу ВКС (и поиск полипов), с участием начинающего рентгенолога (с малым стажем работы).

Повторная схема (третий вариант) включала алгоритм из первичного поиска полипов программой CAD Colon (т.е. потенци-

альных поражений), после которой «помеченные» находки проверялись начинающим врачом-рентгенологом, с использованием разных компьютерных программ в программном обеспечении рабочей станции КТ-аппарата. Учитывалось, чтобы считаться истинно положительным результатом ВКС, часть подозрительной находки, отмеченной CAD-программой на 3Д-изображении, должна быть видна в пределах области интереса на 2Д-изображении.

Результаты сравнивались с данными из архива в анкетах пациентов и в историях болезни; соотносились с результатами эндоскопического исследования (фиброколоноскопии) и с гистологическими протоколами удаленных образований. Статистически подсчитывалась чувствительность методики ВКС с опцией АОН (CAD Colon), ВКС с интерпретацией одним и двумя врачами-операторами с разным стажем работы (от 1 года до 3 лет и более 4 лет работы), а также среднее время (мин.) на проведение ВКС и на интерпретацию результатов врачами разного опыта при различных схемах работы.

Результаты

По результатам ВКС у 250 пациентов были выявлены 186 новообразований, среди которых полипы составили 175 единиц (94% от общего числа выявленных, у 180 пациентов), у десяти пациентов был диагностирован колоректальный рак (5,4%). Впоследствии все аденоматозные полипы были подтверждены результатами фиброколоноскопии и гистологически верифицированы. Таблица по выявленным с помощью ВКС полипам представлена в **таблице 1**.

По результатам проведенного исследования (**табл. 1**), показатель общей чувствительности ВКС с программой АОН (CAD Colon) в выявлении объемных образований размером более 10 мм в диаметре составила 100%, размером от 5 до 10 мм в диаметре - 98% и размером менее 5 мм в диаметре - 82%. Таким образом, АОН (CAD Colon) продемонстрировала достаточно высокую чувствительность программы к образованиям уплощенной формы и полиповидным образованиям более 5 мм в диаметре. Показатели чувствительности ВКС с АОН (CAD

Таблица 1. Макрорфологическая характеристика выявленных полипов (n = 175)

Методика	Размер							
	Сидячие		На ножке		Плоские		Всего	
	Абс.	Чув-ть %	Абс.	Чув-ть %	Абс.	Чув-ть %	Абс.	Чув-ть в среднем %
ФКС	106	100%	61	100%	18	100%	175	100%
ВКС1*	84	79%	57	93%	10	55%	151	86%
ВКС2**	89	84%	60	98%	14	78%	163	93%
ВКС АОН***	85	80%	60	98%	16	89%	161	92%

Примечания: ФКС - фиброколоноскопия; *ВКС 1 - ВКС при интерпретации одним врачом-оператором; **ВКС 2 - ВКС при интерпретации двумя врачами операторами (методом двойного прочтения); ***ВКС АОН - ВКС при анализе с помощью метода АОН.

Таблица 2. Результаты выявления полипов при разных вариантах интерпретации ВКС, в рамках «двойного чтения»

Вариант	Полипы		
	Общее число (175)	Полипы ≥10 мм	Полипы 5-9 мм
Врач-рентгенолог со стажем 4-6 лет, потом врач-рентгенолог со стажем 1-3 года	158 (90,8%)	98%	90%
Врач-со стажем 4-6 лет, потом CAD	161 (92%)	100%	92%
Врач-рентгенолог со стажем 1-3 лет, потом CAD	155 (88,6%)		
Программа CAD, потом врач-рентгенолог со стажем 1-3 лет	159 (90%)	92 %	88%

Colon) выше, чем показатели при интерпретации КТ-исследований одним врачом-рентгенологом и сопоставимы с показателями чувствительности при методе двойного прочтения (двумя врачами).

Всего программой АОН (CAD Colon) в качестве «первого чтения» были выявлены 159 полипов (90%), из которых 54 образования имели размеры до 5 мм (82% от общего числа), 78 полипов (98%) размеры в 5-10 мм, 29 полипов более 10 мм в диаметре (100%). Не визуализировались при АОН 14 полипов вследствие небольшого размера (менее 4 мм). При АОН было выявлено 16 плоских образований (89%) из 18, два из которых не были отмечены при интерпретации одним и двумя врачами-рентгенологами. Одним из случаев ложноотрицательного результата стал случай маркировки программой АОН в 3Д-эндоскопическом окне просмотра в сигмовидной кишке почти плоского участка на 2Д-изображениях, который врачи-рентгенологи при анализе в разных программах просмотра ВКС не подтвердили, как патологический результат. У этого же пациента при ВКС в разных программах был впервые выявлен КРР в поперечной ободочной кишке, который впоследствии был подтвержден интраоперационно. При осмотре удаленного макропрепарата (после гемиколонэктомии), был выявлен имплантационный метастаз КРР в сигмовидной кишке, который при ВКС программой АОН (CAD Colon) был отмечен как патологическая находка и не был подтвержден двумя врачами-рентгенологами (рис. 1).

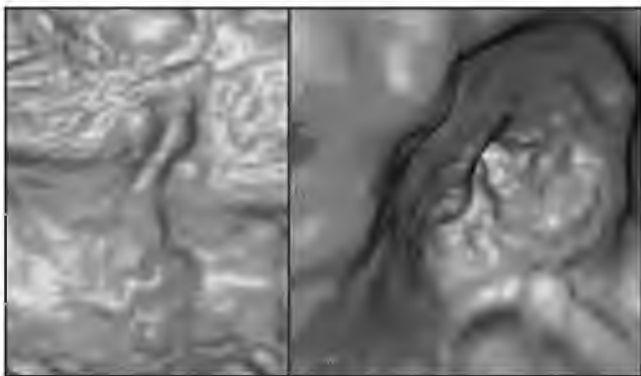


Рис. 1. ВКС, программа filet (слева) и эндоскопическое окно (справа) с АОН (а); определяется плоское образование вытянутой (удлиненной) формы (при гистологическом исследовании - имплантационный метастаз опухоли поперечно-ободочной кишки).

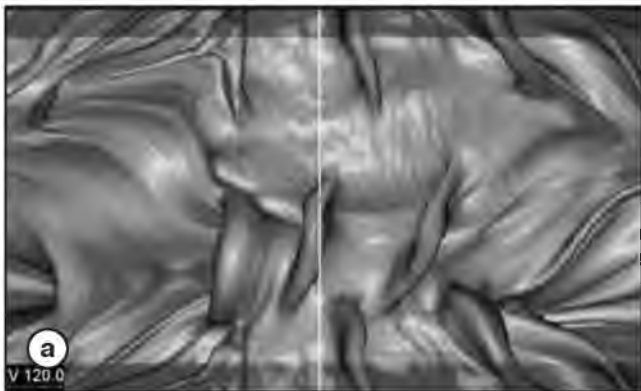


Рис. 2. ВКС, программа filet с АОН (а) и на аксиальном срезе, в просвете кишки (б) определяются утолщенные складки ободочной кишки.

При использовании разных схем использования программы АОН (CAD Colon) врачами с разным опытом работы (табл. 2). В первом варианте, при интерпретации ВКС врачом-рентгенологом с большим стажем работы (3-6 лет и более), при использовании АОН в качестве «второго чтения», было выявлено 161 из 175 объемных образований у 172 пациентов (чувствительность составила 92%). Все 10 злокачественных новообразований у 10 пациентов были выявлены (чувствительность - 100%).

По второму варианту схемы интерпретации ВКС начинающий врач-рентгенолог, первоначально самостоятельно осуществляя просмотр КТ-данных, выявил 155 из 175 новообразований у 172 пациентов (чувствительность составила 88,6%). При использовании опции АОН на ВКС к 155 аденоматозным полипам, выявленных начинающим врачом-рентгенологом дополнительно были выявлены 4 новообразования (полипа), что повысило выявляемость полипов при ВКС до 90%.

В большинстве современных программ АОН (CAD Colon) высокая чувствительность сочетается и с высоким количеством ложноположительных результатов, но они легко дифференцируются врачом-оператором. Обычно, среди выбранных кандидатов на полиповидные образования много ложноположительных находок, обусловленных проминированием, утолщением складок (рис. 2) или резидуальным содержимым (рис. 3, 4). Плоские образования, новообразования, покрытые резидуальной жидкостью, расположенные в неадекватно растянутом отделе кишки, циркулярно суживающие просвет карциномы, определяют наличие ложноотрицательных результатов при АОН (CAD Colon).

Причины ложноположительных результатов с АОН при ВКС за период 2012-2018 гг. у 9 врачей-рентгенологов (без учета врачебного стажа) представлены в таблице 3.

Среднее время на проведение интерпретации результатов ВКС с «двойным чтением», с использованием разных (2Д + 3Д) программ-просмотра изображений в наборах программ Virtual Colon и Colon CAD (software Philips Healthcare) составило 18,9 минут (при стандартном отклонении 5,2 мин.). Среднее время интерпретации ВКС-данных врачом-рентгенологом со стажем в 4-6 года и более составило 9,94 мин. (при стандартном отклонении - 7,9 мин). Среднее время интерпретации ВКС-данных врачом-рентгенологом со стажем в 1-3 года составило 16,3 мин. (при стандартном отклонении - 6,5 мин). Среднее время проведения ВКС (только техническая часть, с отсчета от размещения и до окончания пребывания пациента на столе КТ-аппарата, без учета времени восстановления) составило 24,7 мин (при стандартном отклонении - 13,2 мин).

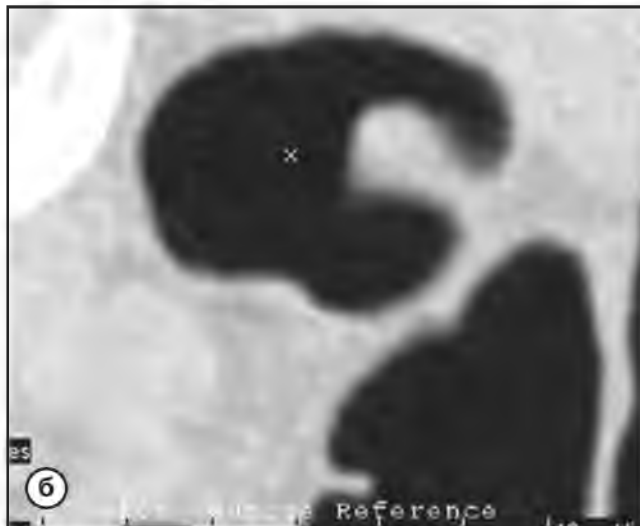


Таблица 3.

Причины ложноположительных результатов с АОН при ВКС

Причины	Количество ложноположительных результатов
Гаустральные складки	27,9%
Илоцекальный клапан	16,1%
Плоские новообразования, небольшого размера	15,2%
Не отклоняемые врачами находки	12,1%
Внекишечные находки	6,7%
Маркированное или смещаемое резидуальное кишечное содержимое	5,8%
Артефакты	5,1%
Другие причины (в том числе ректальные изменения - анальные сосочки, внутренний геморрой; также введенная ректальная трубка, дивертикулы с проминированием в просвет кишки, липомы и др.)	11,1%

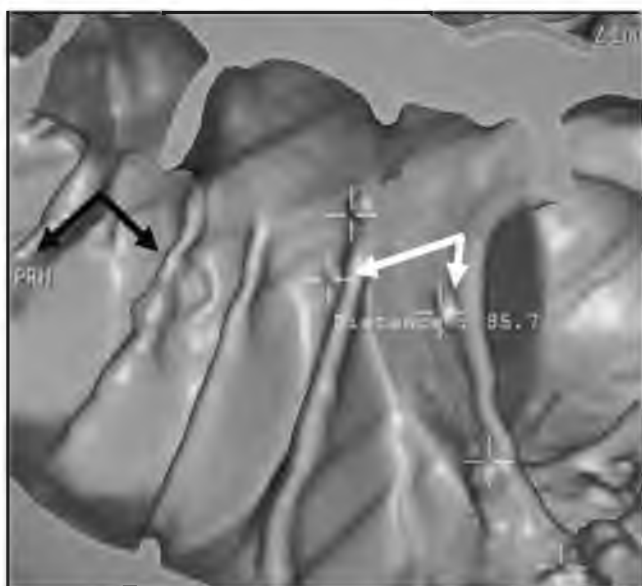


Рис. 3. ВКС, программа эндоскопического окна, с программой АОН, полипы (не маркированные цветом - белая стрелка, маркированные зеленым цветом - красная стрелка) утолщенные складки ободочной кишки (маркированы зеленым цветом - черная стрелка). Голубым цветом маркирован фрагмент резидуального кишечного содержимого (синяя стрелка).

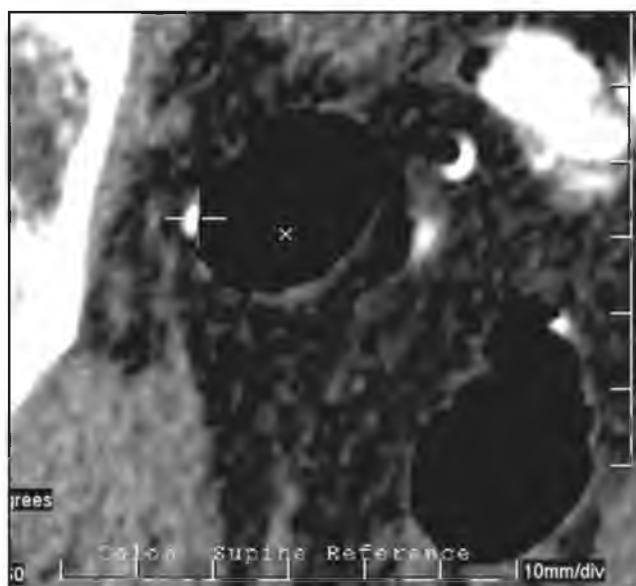


Рис. 4. ВКС, аксиальный срез. Крестовая метка установлена на фрагмент маркированного резидуального содержимого в стенке кишки.

Обсуждение

Стремительное увеличение количества и объема данных медицинской визуализации и возможностей для их хранения и обработки способствовало резкому за последние 15 лет развитию систем и программ искусственного интеллекта в инструментальной диагностике. Вряд ли найдется область или методика лучевой диагностики, которая не сталкивалась бы с обширными исследованиями искусственного интеллекта в своем развитии и быстрой клинической ассимиляцией, с момента появления первых систем компьютерного обнаружения (CAD) в 1980-х годах. Быстрое улучшение и высокая производительность CAD-систем при скрининге рака легких и молочной железы с момента появления первых систем компьютерной диагностики способствовали растущему интересу к разработке инструментов на основе искусственного интеллекта и их постоянной интеграции в рутинный поиск и визуализацию других онкопатологий.

За последние десятилетия для обнаружения полипов при ВКС было разработано множество систем для АОН в толстой кишке (CAD Colon). Большинство платформ и программ АОН (CAD Colon) для ВКС выстроены из двух этапов: выделения кандидатов на полипы и контролируемая классификация находок. Кандидатами на полип считаются области внутренней стенки толстой кишки с высокой кривизной. Контролируемая классификация используется для уменьшения автоматического выделения ложноположительных пометок, с функций изображения, извлеченных на этапе выбора программой кандидатов. В одной из первых программ, разработанных в 2001 году, Саммерс Р.М. с соавт. использовали параметры средней кривизны, сферичности, размера и показателей КТ-затененности для обнаружения полипов [9,16,22]. Впоследствии различными группами ученых использовались параметры индекса формы, изогнутости, градиентной концентрации, направленного и квадратичного дискриминантного анализа для обнаружения полипов [16,23]. Ряд исследователей рас-

считали кривизну поверхности сетки толстой кишки, используя операторы сглаженной формы, и обнаружили участки поверхности в качестве кандидатов, в также использовали для обнаружения полипов объемный фильтр, специфичный для полипов, на основе матрицы Гессе. Предлагалось оценить кривизну, ориентацию и глобальные ложноположительные находки в рамках геодезических колец на поверхности сетки толстой кишки для обнаружения полипов [13, 14, 16, 17].

Хотя было предложено множество схем CAD-СТС, оптимизация выбора кандидатов на полипы и другие новообразования при контролируемой классификации остается проблемой. При выборе кандидатов на полипы показатель измерения кривизны часто страдает из-за неоднородного распределения плотности КТ внутри полипа, то есть центральная область такого полипа имеет плотность КТ, аналогичную плотности нормальных тканей; напротив, граничная область полипа имеет КТ-плотность, аналогичную плотности окружающих материалов, таких как воздух и контрастированная резидуальная жидкость [24]. Более того, измерение кривизны может быть искажено псевдоусилением между полипами и «маркированными» материалами [25].

Экспериментальные результаты по совершенствованию программ компьютерного обнаружения новообразований в толстой кишке (по типу CAD Colon) показали 98,1% и 95,3% чувствительности по полипам и чувствительности на одно сканирование соответственно, с уменьшением выявления ложноположительных находок для выявления полипов >5 мм [15, 16, 25], но нерешенных задач остается еще достаточно.

Скрининг клинически скрытых злокачественных опухолей представляет собой одну из важнейших задач онкологической визуализации и позволяет своевременно лечить новообразования, которые в противном случае остались бы незамеченными, с ростом малигнизировались и выявлялись на поздних стадиях ЗНО. Программы массовых КТ-исследований (в том числе ВКС) исследуют сотни пациентов одновременно, создавая значительный объем данных визуализации для анализа.

Искусственный интеллект все больше интегрируется в рабочий процесс онкологической радиологии, и эта тенденция, вероятно, сохранится и в будущем, что приведет к значительному улучшению ведения пациентов и качества их жизни. Бла-

годаря искусственному интеллекту можно передать на аутсорсинг и автоматизировать широкий спектр рутинных задач по визуализации, включая обнаружение и количественную оценку заболеваний, а также сегментацию поражений.

Выводы

1. Использование программ автоматического обнаружения новообразований (CAD) повышает чувствительность виртуальной колоноскопии до 98% (при «двойном чтении») в выявлении полипов (>5 мм) и рака, при интерпретации большого объема КТ-изображений, снижая зависимость результатов от профессиональной и физической усталости (снижения внимания, остроты зрения) и малоопытности врача при возрастающем количестве КТ-исследований.

2. Программа автоматического обнаружения новообразований, сокращая время интерпретации на каждого пациента, при увеличении потокового проведения виртуальной колоноскопии в разы, при выборе этой неинвазивной и эффективной диагностической процедуры, может улучшить соблюдение пациентами (особенно из групп риска) рекомендаций по периодическому обследованию толстой кишки для выявления полипов.

3. Стратегии правильной оценки кандидатов на полипы АОН при виртуальной колоноскопии важны, чтобы избежать ошибок, связанных с наиболее распространенными источниками ложноположительных результатов, особенно в области илоцекального клапана и имитируемых меченным резидуальным кишечным содержимым. По мере того, как автоматическое обнаружение новообразований при ВКС становится все более широко применяемой методикой, выявление и маркирование цветом потенциальных полипов, которые нельзя исключить, и небольших поражений другого характера потребует дальнейшего изучения, наращивания опыта и создания более чувствительных и специфических программ ИИ. Более того, в развитии, программы ИИ потенциально могут повысить точность лучевой оценки агрессивности ЗНО и дифференциации доброкачественных и злокачественных поражений, что позволит более эффективно и вовремя лечить пациентов. ■

Список литературы/References

1. Сайт Глобальная онкологическая обсерватория (GCO) - (открытый информационный источник).

Global Cancer Observatory website (GCO) - (open source) [In Russ].

<https://gco.iarc.who.int/today/en>

2. Злокачественные новообразования в России в 2022 году (заболеваемость и смертность). Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой. Состояние онкологической помощи населению России в 2022 году. - М.: МНИОИ им. П.А. Герцена - филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2022; 239.

Malignant neoplasms in Russia in 2022 (morbidity and mortality). Edited by AD Kaprin, VV Starinsky, AO Shakhzadova. The state of oncological care for the Russian population in 2022. - M.: P.A. Herzen MNIIOI - branch of FGBU NMC Radiology of the Ministry of Health of Russia, 2022; 239 [In Russ].

3. Хомутова Е.Ю., Игнатьев Ю.Т., Филиппова Ю.Г. и др. ВКС-семиотика колоректального рака по данным виртуальной колоноскопии. *Сибирский онкологический журнал*. 2011; S2: 85-86.

Khomutova EYu, Ignatiev YuT, Filippova YuG, et al. CTC-semi-

otics of colorectal cancer according to virtual colonoscopy. *Siberian Journal of Oncology*. 2011; S2: 85-86 [In Russ].

4. Хомутова Е.Ю. Виртуальная мультиспиральная компьютерно-томографическая колоноскопия в диагностике патологии толстой кишки. Автореферат. Дисс. канд. мед. наук. Санкт-Петербург, 2014; 294.

Khomutova EYu. Virtual multidetector computed tomographic colonoscopy in the diagnosis of colon pathology. Abstract. Cand. med sci. diss. Saint Petersburg, 2014; 294 [In Russ].

5. Хомутова Е.Ю., Игнатьев Ю.Т., Филиппова Ю.Г. Компьютерно-томографическая перфузия в оценке динамики лечения рака прямой кишки. *Диагностическая и интервенционная радиология*. 2010; 4(1): 29-33.

Khomutova EYu, Ignatiev YuT, Filippova YuG. Computer tomographic perfusion in the assessment of treatment dynamics of rectal cancer. *Diagnostic and interventional radiology*. 2010; 4(1): 29-33 [In Russ].

6. Knudsen AB, Lansdorp-Vogelaar I, Rutter CM, et al. Cost-effectiveness of computed tomographic colonography screening for colorectal cancer in the Medicare population. *J Natl Cancer Inst*. 2010; 102(16): 1238-1252.

<https://doi.org/10.1017/S0266462312000542>

7. Хомутова Е.Ю., Игнатьев Ю.Т., Филиппова Ю.Г., Скрипкин Д.А. Автоматическое обнаружение новообразований при виртуальной колоноскопии. *Медицинская визуализация*. 2010; 1: 111-116.

Khomutova EYu, Ignatiev YuT, Filippova YuG, Skripkin DA. Automatic detection of neoplasms during virtual colonoscopy. *Medical Visualization J*. 2010; 1: 111-116 [In Russ].

8. Koichi N, Shungo E, Tetsuro H, et al. Accuracy of CT Colonography for Detection of Polypoid and Nonpolypoid Neoplasia by Gastroenterologists and Radiologists: A Nationwide Multi-center Study in Japan. *The American journal of gastroenterology*. 2017; 112(1): 163-171.

<https://doi.org/10.1038/ajg.2016.478>

9. Cellina M, Си М, Khenkina N, et al. Artificial Intelligence in the Era of Precision Oncological Imaging. *Technology in Cancer Research & Treatment*. 2022; 21(1): 153303382211417.

<https://doi.org/10.1177/15330338221141793>

10. Cheung HMC, Rubin D. Challenges and opportunities for artificial intelligence in oncological imaging. *Clin. Radiol*. 2021; 76(10): 728-736.

<https://doi.org/10.1016/j.crad.2021.03.009>

11. Park SH, Kim DH. CT colonography interpretation: how to maximize polyp detection and minimize overcalling. *Abdominal Radiology*. 2018; 43: 539-553.

<https://doi.org/10.1007/s00261-018-1455-x>

12. Trilisky I, Dachman A, Wroblewski K, et al. CT Colonography with Computer-aided Detection: Recognizing the Causes of False-Positive Reader Results. *Radiographics*. 2014; 34(7):1885-1905.

<https://doi.org/10.1148/rg.347130053>

13. Castellino RA. Computer aided detection (CAD): an overview. *Cancer Imaging*. 2005; 5(1): 17.

<https://doi.org/10.1102/1470-7330.2005.0018>

14. Greenblum Sh, Li J, Huang A, Summers RM. Wavelet analysis in virtual colonoscopy, Proc. SPIE 6143, Medical Imaging 2006: Physiology, Function, and Structure from Medical Images, 614336.

<https://doi.org/10.1117/12.655680>

15. Hegde N, Shishir M, Shashank S, et al. A Survey on Machine Learning and Deep Learning-based Computer-Aided Methods for Detection of Polyps in CT Colonography. *Current Medical Imaging*. 2021; 17(1): 3-15.

<https://doi.org/10.2174/2213335607999200415141427>

16. Yacheng R, Jingchen M, Junfeng X, Zhao Jun, et al. High-Performance CAD-CTC Scheme Using Shape Index, Multiscale Enhancement Filters, and Radiomic Features. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 2017; 64(8): 1924-1934.

<https://doi.org/10.1109/TBME.2016.2631245>

17. Yacheng R, Yizhi Ch, Lin L, Jun ZP. (2018). Novel 3D Radiomic Features for Computer-Aided Polyp Detection in CT Colonography. *IEEE Access*. 2018; 6: 74506-74520.

<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2874803>

18. Hein P, Krug L, Romano V, et al. Computer-aided Detection in Computed Tomography Colonography with Full Fecal Tagging: Comparison of Standalone Performance of 3 Automated Polyp Detection Systems. *Canadian Association of Radiologists journal*. 2009; 61: 102-108.

<https://doi.org/10.1016/j.cari.2009.10.005>

19. Yamashita R, Nishio M, Do RKG, Togashi K. Convolutional neural networks: an overview and application in radiology. *Insights Imaging*. 2018; 9(4): 611-629.

<https://doi.org/10.1007/s13244-018-0639-9>

20. Хомутова Е.Ю. и др. Устройство для раздувания толстой кишки. Патент на полезную модель №71072, 14.05.2007. Khomutova EYu, et al. Colon inflation device. Patent RF №71072, 14.05.2007 [In Russ].

21. Хомутова Е.Ю., Скрипкин Д.А., Буркова А.М. Вопросы лучевой нагрузки при виртуальной колоноскопии. *Медицинская визуализация*. 2009; 2: 59-62.

Khomutova EYu, Skripkin DA, Burkova AM. Questions of radiation exposure at virtual colonoscopy. *Medical Visualization J*. 2009; 2: 59-62 [In Russ].

22. Summers RM, et al. Automated Polyp Detection at CT Colonography: sassessment in a Human Population. *Radiology*. 2001; 219(1): 51-59.

<https://doi.org/10.1148/radiology.219.1.r01ap0751>

23. Lee J-G, et al. A straightforward approach to computer-aided polyp olumetric feature in CT colonography. *Comput. Biol. Med*. 2011; 41(9) 790-801.

<https://doi.org/10.1016/j.compbimed.2011.06.015>

24. Zhu H, et al. Improving initial polyp candidate extraction CT colonography. *Phys. Med. Biol*. 2010; 55(7): 2087.

<https://doi.org/10.1088/0031-9155/55/7/019>

25. Näppi J, Yoshida H. Fully automated three-dimensional detection of polyps in fecal-tagging CT colonography. *Acad Radiol*. 2007; 14(3): 287-300.

<https://doi.org/10.1016/j.acra.2006.11.007>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

ХОМУТОВА ЕЛЕНА ЮРЬЕВНА - [ORCID: 0000-0001-9508-2202]

д.м.н., доцент, заведующая кафедрой лучевой диагностики, ФГБОУ ВО Омский государственный медицинский университет МЗ РФ, 644099 Российская Федерация, г. Омск, ул. Некрасова, 5.

Конфликт интересов, информация о клинической базе и финансировании

Автор данной статьи заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Данная работа не имела внешнего (грантового) финансирования.

Информированное согласие не требовалось, ретроспективно использовалась и анализировалась архивная база пациентов.